

特開平11-326666

(43) 公開日 平成11年(1999)11月26日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G02B 6/16

識別記号

F I

G02B 6/16

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全12頁)

(21) 出願番号 特願平10-137263

(22) 出願日 平成10年(1998)5月19日

(71) 出願人 390010021

松下技研株式会社

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1号

(72) 発明者 豊田 幸雄

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1号 松下技研株式会社内

(72) 発明者 馬場 彩子

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1号 松下技研株式会社内

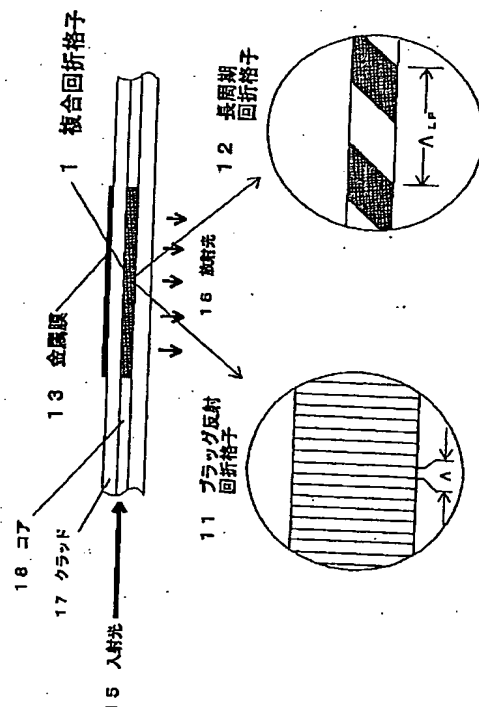
(74) 代理人 弁理士 蔵合 正博

(54) 【発明の名称】 光制御素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 多重方式による大容量超高速情報伝送の実現および、そのための光制御素子の集積による小型化を実現すること。

【解決手段】 光制御素子に、狭帯域の波長選択性を持たせるためのブラッグ反射回折格子と効率よく放射モード変換し、かつ高い放射指向性を持つ放射光を得るための導波路伝搬軸に対して45°傾斜の長周期回折格子を合わせ持つ構造の複合回折格子を用いる。ブラッグ反射回折格子と長周期回折格子の両方の機能が、完全に重ね合わさり効率的に狭帯域の波長選択性と光指向性を有する放射分光を得られる。複合回折格子は、光導波路の同一の場所にブラッグ反射チャープ回折格子と45°傾斜の長周期回折格子とを重ねて成るものと、45°傾斜の長周期回折格子の両端に反射鏡としてブラッグ反射回折格子を配置した共振器構造のものを提案する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路を伝搬する光を放射モードに変換制御するため、当該光導波路にブラッグ反射回折格子と長周期回折格子とから構成された複合回折格子を有することを特徴とする光制御素子。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光制御素子において、複合回折格子のブラッグ反射回折格子と長周期回折格子が同一の領域に多重形成された構造を少なくとも一カ所以上有することを特徴とする光制御素子。

【請求項 3】 請求項 2 記載の光制御素子において、長周期回折格子が同一の領域に多重形成された当該のブラッグ反射回折格子の周期がチャープしていることを特徴とする光制御素子。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光制御素子において、長周期回折格子の格子面が当該光導波路の光軸に対して約  $4.5^\circ$  傾斜していることを特徴とする光制御素子。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光制御素子において、ブラッグ反射回折格子の格子面が当該光導波路の光軸に対して垂直であることを特徴とする光制御素子。

【請求項 6】 請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも当該素子の一部が当該の長周期回折格子の両端にブラッグ反射回折格子を有する構造であることを特徴とする光制御素子。

【請求項 7】 請求項 6 記載の光制御素子において、長周期回折格子と、この長周期回折格子を前後方向から挟んだ一対のブラッグ反射回折格子とよりなる、共振器構造の複合回折格子を有することを特徴とする光制御素子。

【請求項 8】 請求項 6 記載の光制御素子において、ブラッグ反射回折格子と長周期回折格子とは、コア内において前後方向に交互に形成され、且つ両端はブラッグ反射回折格子によって終わるように配列されて成る、複数の共振器構造の複合回折格子を有することを特徴とする光制御素子。

【請求項 9】 ブラッグ反射回折格子と、長周期回折格子により構成された複合回折格子と、複合回折格子を設けられた第 1 の光導波路と、上記第 1 の光導波路に対して直角の方向に延びて設けられた第 2 の光導波路と、複合回折格子と第 2 の光導波路とを接続する結合部とから成る光制御素子。

【請求項 10】 シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの同じ部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を多重形成する段階と、

回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコートする段階とから成り、

前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを多重形

成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $4.5^\circ$  となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $90^\circ$  となるようにし、また、レーザ光の照射量は、それぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子の反射率が  $\sim 100\%$ 、長周期回折格子による放射損失が約  $30\%$  となる条件としたことを特徴とする光制御素子の製造方法。

【請求項 11】 シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの前記長周期回折格子を形成した部分の前後両側の部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を形成する段階と、回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコート（被覆）する段階とから成り、

前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $4.5^\circ$  となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $90^\circ$  となるようにし、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階においては、まずファイバのコア部分の中心に幅約  $3\text{mm}$  の遮蔽マスクを置き、その両側に位相マスクを用いて 2 つのブラッグ反射回折格子を形成し、しかる後に、中心部分に開口幅約  $3\text{mm}$  のスリットを置き金属マスクにより長周期回折格子を形成するとともに、レーザ光の照射量は、それぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子の反射率が約  $90\%$ 、長周期回折格子による放射損失が約  $20\%$  となる条件としたことを特徴とする光制御素子の製造方法。

【請求項 12】 長周期回折格子の形成段階では、シングルモードファイバのコアの中心部分に開口幅が約  $3\text{mm}$  のスリットを置き、ほぼ  $4.5^\circ$  傾斜したラインアンドスペース金属マスクを用いてレーザ光を照射することを特徴とする請求項 11 記載の光制御素子の製造方法。

【請求項 13】 石英基板上にスパッタ堆積装置により Ge をドーブした  $\text{SiO}_2$  を堆積する段階と、前記石英基板を所定圧力の水素中に所定期間放置する段階と、

前記石英基板に対して開口マスクを用いてエッチングにより、第 1 の導波路と第 2 の導波路を形成する段階と、第 1 の導波路と第 2 の導波路との交差部分に結合部を形成する段階と、

第 1 の導波路と第 2 の導波路との交差部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの同じ部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を多重形成する段階と、から成る光制御素子の製造方法。

【請求項 14】 結合部は、後で形成する回折格子の格子長に等しい幅から導波路の幅まで寸法が変化するテー

バー構造に形成されることを特徴とする請求項 1 3 記載の光制御素子の製造方法。

【請求項 1 5】 第 1 の導波路および第 2 の導波路は、エッチングの代わりに、レーザ光を照射して形成されることを特徴とする請求項 1 3 記載の光制御素子の製造方法。

【請求項 1 6】 シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの前記長周期回折格子を形成した部分の隣側の部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を形成する操作を交互に繰り返すことにより、実質的に長周期回折格子を一对のブラッグ反射回折格子が前後方向から挟んだ形を複数個連続させた複合回折格子を形成する段階と、回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコート（被覆）する段階とから成り、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $45^\circ$  となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約  $90^\circ$  となるようにし、また、ブラッグ反射回折格子形成段階では、ファイバに所定の張力を印可しながら回折格子を形成することを特徴とする光制御素子の製造方法。

【請求項 1 7】 ブラッグ反射回折格子形成段階では、複数のブラッグ反射回折格子を形成加工するに当たって、基板であるファイバに最初所定の重量の張力を加えて 1 つ目のブラッグ反射回折格子を形成し、2 つ目以降のブラッグ反射回折格子を形成するに際しては、順次一定重量ずつ印可張力を減らしながら回折格子を形成することを特徴とする請求項 1 6 記載の光制御素子の製造方法。

【請求項 1 8】 ブラッグ反射回折格子形成段階では、複数のブラッグ反射回折格子を形成加工するに当たって、基板であるファイバに最初所定の重量の張力を加えて 1 つ目のブラッグ反射回折格子を形成し、2 つ目以降のブラッグ反射回折格子を形成するに際しては、順次一定重量ずつ印可張力を減らし、最後のブラッグ反射回折格子を形成するに際しては、張力を掛けずに回折格子を形成することを特徴とする請求項 1 6 記載の光制御素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光情報処理等の分野に広く利用される光制御素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光導波路を伝搬する光を放射モードへ変換制御する従来の技術の代表例として、Optics Letters V

ol21 p336 (1996)なる文献がある。図 6 は当該文献における Fig. 1 および Fig. 2 より引用した長周期回折格子の周期に対する放射モードピークの依存性（図 6 (a)）と、長周期回折格子の形成時間（すなわちエキシマレーザ光の照射時間）に対する透過損失スペクトルの変化の特性（図 6 (b)）を示すものである。図 6

(a) から明らかなように特定の回折格子の周期に対して複数の放射モードが存在する。回折格子により透過光の一部放射モードに変換するので、放射モードピークに対応して透過スペクトルに損失ピークが現れるのである。回折格子の形成によりコアの屈折率が変化する一方、各々の放射モードのピークは、コアとクラッドの屈折率差に依存するため、回折格子の形成の進展により刻々と変化し、図 6 (b) のように透過スペクトルの損失ピークのみならずスペクトル幅もが変化する。このような従来技術によっても、回折格子の周期を精密に選定し、その形成条件を厳密に制御することにより、光増幅器の利得平坦化フィルタなどように、特定の波長域で透過損失を持つ機能のデバイスが作製可能である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の従来技術では図 6 のスペクトル変化からも推定されるように、透過光の損失ピーク波長と損失量の両方を厳密に設定するには、回折格子の周期の精度と形成条件の厳密な制御を必要とし、かつ形成条件の安定性が問題となり、非常に難易である。

【0004】また、図のスペクトルからわかるように、レーザ光の照射時間即ち回折格子形成時間とともにスペクトル幅が狭くなるが、1 nm 以下に制御して作製することは難しい。回折格子長を長くすれば名場を狭くすることは可能であるが、目的にもよるが、10 cm 以上の長さは現実的ではない。さらに、放射モードに変換された光は、クラッド内を伝搬することも問題となる。以上のように、損失機能を利用する場合には、重要でないが、放射光を導波路より取り出して用いる場合、その指向性と、放射光のスペクトル幅が重要となる。例えば、波長多重通信のように導波路を伝搬する光を各波長成分に分光し取り出し利用するには、多重度に応じてスペクトル幅の狭い特定の波長成分を、指向性よく取り出す必要があり、絶対不可欠な条件となる。従って、このように導波路からの放射モード変換による放射光を利用するには、従来技術による方法では、全く不可能であり、本発明による手段により初めて可能となる。

【0005】以上のように、従来技術の長周期回折格子による伝搬光の放射モード変換では、波長選択に対する制御性が不十分であり、指向性がなく、放射光の利用は全く不可能であるという課題がある。

【0006】本発明はかかる従来の不具合に鑑みてなされたもので、その目的は、多重方式による大容量超高速情報伝送の実現および、そのための光制御素子の集積に

よる小型化を実現することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】前述のような課題を解決するための本発明の手段は以下の通りである。まず、従来技術によるファイバのコアに形成された長周期回折格子によりファイバを伝搬する光が、特定の波長で放射され損失する原理は以下の通りである。

【0008】ファイバ中を安定に伝搬する光は、コアモードであるが、これとは別にクラッドモードが存在し、安定に伝搬せずファイバ外に放射される。ここで、コアに周期的屈折率変化を与え、その周期 $\Lambda$ が、次のようなそれぞれのモードの伝搬定数( $\beta_{c,0}$ 、 $\beta_{c,1}(n)$ )間で

$$\beta_{c,0} - \beta_{c,1}(n) = 2\pi/\Lambda$$

を満足する時には、コアモードを伝搬していた光が $n$ 次のクラッドモードへ移行する。クラッドモードへ移行した光は、最早ファイバ中を長く伝搬し続けることなく放射され放射モードとなる。波長 $\lambda$ の光の伝搬定数 $\beta$ は、有効屈折率 $n_{eff}$ を用いると、

$$\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$$

であるから、 $p$ 次のクラッドモードに対して、前述の位相整合条件は、

$$n_{c,0} - n_{c,1}(p) = \lambda/\Lambda(p)$$

となる。

【0009】前に示した図6は、この式から求めた放射モードのピーク波長の、長周期回折格子の周期依存性である。勿論、クラッドモードへの移行量はコアの屈折率変化量に依存して多くなるので、放射モードによる伝搬損失は、レーザ光の照射時間に伴い増大する。また、上式から分かるようにコアの屈折率変化量により有効屈折率が変わるので、レーザ光の照射時間によりピーク波長も変化する。ここでレーザ光の照射時間を多くすればより放射量が多くなり、同時にスペクトル幅がある程度狭くなるが、放射光を利用する場合にはより狭いスペクトル幅が必要とされるので不十分であり、この課題を解決すると同時に、もう一つの課題である放射光の指向性をよくするための手段は以下の通りである。

【0010】狭帯域の波長選択性を持たせるためのブラッグ反射回折格子と効率よく放射モード変換し、かつ高い放射指向性を持つ放射光を得るための導波路伝搬軸に対して $45^\circ$ 傾斜の長周期回折格子をを合わせ持つ構造の複合回折格子を用いる方法である。本発明による手段は、このようなブラッグ反射回折格子と $45^\circ$ 傾斜の長周期回折格子の両方の機能が、完全に重ね合わさり効率的に狭帯域の波長選択性と光指向性を有する放射光を得るために、この複合回折格子の具体的構造を提供するものである。複合回折格子の構造は後述の実施の形態の図1で示すように、 $45^\circ$ 傾斜の長周期回折格子の両端に反射鏡としてブラッグ反射回折格子を配置した共振器構造である。このような複合回折格子により如何に狭帯域

の波長選択性と指向性を有する放射光を効率よく得ることができ、従来技術の課題が解決されるかを説明する。まず、長周期回折格子を導波路伝搬軸に対し $45^\circ$ 傾斜することで、導波路伝搬方向に対して垂直方向の良好な指向性が得られることは、理論的にいえるが、このことは試作した回折格子の放射光の観察からも確認されている。

【0011】また、長周期回折格子による放射モードへの変換では、その格子長が短いとき、スペクトル幅が広く、ピークでの放射量が少なくなる一方、ピーク付近の一定の波長域では波長依存性が無視できる。従って、このような格子長の短い長周期回折格子を共振器に形成すれば、共振波長では、共振効果により放射モードへの変換が増幅され100%近い放射が可能となる。しかるに共振器の反射鏡の所定のブラッグ反射回折格子を用いれば、非常に効率的に狭帯域の波長の放射光が得られる。ブラッグ反射回折格子も単独では格子長が短いと反射スペクトルが広がるが、これにより共振器即ちファブリーペロー共振器を構成した場合には、共振効果即ち位相整合の条件を満足する必要から、スペクトル幅即ち、この場合は放射光のスペクトル幅を狭くすることができる。

【0012】さらに、実施の形態の図2で示すように、このような複合回折格子をそれぞれ放射ピーク波長の異なるものを複数、複数導波路の伝搬方向に直列に配置する構成により、導波路を伝搬する光を各波長成分別に分光し、空間的に分散分離し導波路に垂直な方向に進行する光に変換される。また、前述の例では、 $45^\circ$ 傾斜の長周期回折格子による放射光は、導波路に垂直な方向が2方向あるため、一方では、原理的に強度が半減してしまうので、実施の形態の図3に示すように、片方に反射鏡を設けることにより、一方の放射光の利用効率が2倍改善される。

【0013】以上のように、本発明による複合回折格子により、長周期回折格子による放射モード変換に関する従来技術では、不可能であった導波路を伝搬する光を分光し空間的に分散した放射光として取り出すことを可能し、実施の形態で示すように波長多重光通信におけるマックス、デマックスおよびアド、ドロップ光回路の高性能化や、フェムト秒光パルスの有効利用が可能となる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、光制御素子を、光導波路を伝搬する光を放射モードに変換制御するため、当該の光導波路にブラッグ反射回折格子と長周期回折格子とから構成された複合回折格子を有するようにしたものであり、多重方式による大容量超高速情報伝送の実現および、そのための光制御素子の集積による小型化を実現するという作用を有する。

【0015】本発明の請求項2に記載の発明は、請求項1記載の光制御素子において、複合回折格子のブラッグ

反射回折格子と長周期回折格子が同一領域に多重形成された構造を少なくとも一カ所以上有するようにしたものであり、ブラッグ反射回折格子と45°傾斜の長周期回折格子の両方の機能が、完全に重ね合わさり効率的に狭帯域の波長選択性と光指向性を有するという作用を有する。

【0016】本発明の請求項3に記載の発明は、請求項2記載の光制御素子において、長周期回折格子が同一領域に多重形成された当該のブラッグ反射回折格子の周期がチャープするようにしたものであり、それによる反射は、各波長により光軸方向で空間的に違った場所で反射し、この複合回折格子1によりファイバの伝搬光を分光分散できるという作用を有する。

【0017】本発明の請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載の光制御素子において、長周期回折格子の格子面が当該光導波路の光軸に対して約45°傾斜させたものであり、導波路伝搬方向に対して垂直方向の良好な指向性が得られるという作用を有する。

【0018】本発明の請求項5に記載の発明は、請求項1乃至4のいずれかに記載の光制御素子において、ブラッグ反射回折格子の格子面が当該光導波路の光軸に対して垂直にしたものである。

【0019】本発明の請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも当該素子の一部が当該の長周期回折格子の両端にブラッグ反射回折格子を有するようにしたものであり、導波路を伝搬する光を各波長成分別に分光し、空間的に分散分離し導波路に垂直な方向に進行する光に変換という作用を有する。

【0020】本発明の請求項7に記載の発明は、請求項6記載の光制御素子において、長周期回折格子と、この長周期回折格子を前後方向から挟んだ一対のブラッグ反射回折格子とよりなる、共振器構造の複合回折格子を有するようにしたものであり、導波路を伝搬する光を各波長成分別に分光し、空間的に分散分離し導波路に垂直な方向に進行する光に変換という作用を有する。

【0021】本発明の請求項8に記載の発明は、請求項6記載の光制御素子において、ブラッグ反射回折格子と長周期回折格子とは、コア内において前後方向に交互に形成され、且つ両端はブラッグ反射回折格子によって終わるように配列されて成る、複数の共振器構造の複合回折格子を有するようにしたものである。

【0022】本発明の請求項9に記載の発明は、光制御素子を、ブラッグ反射回折格子と、長周期回折格子により構成された複合回折格子と、複合回折格子を設けられた第1の光導波路と、上記第1の光導波路に対して直角の方向に延びて設けられた第2の光導波路と、複合回折格子と第2の光導波路とを接続する結合部とから構成したものである。

【0023】本発明の請求項10に記載の発明は、光制

御素子を、シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの同じ部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を多重形成する段階と、回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコートする段階とから成り、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを多重形成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約45°となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約90°となるようにし、また、レーザ光の照射量は、それぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子の反射率が~100%、長周期回折格子による放射損失が約30%となる条件としたものであり、多重方式による大容量超高速情報伝送の実現および、小型化を実現する光制御素子を簡単且つ迅速に製造するという作用を有する。

【0024】本発明の請求項11に記載の発明は、シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの前記長周期回折格子を形成した部分の前後両側の部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を形成する段階と、回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコート（被覆）する段階とから成り、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約45°となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約90°となるようにし、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階においては、まずファイバのコア部分の中心に幅約3mmの遮蔽マスクを置き、その両側に位相マスクを用いて2つのブラッグ反射回折格子を形成し、しかる後に、中心部分に開口幅約3mmのスリットを置き金属マスクにより長周期回折格子を形成するとともに、レーザ光の照射量は、それぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子の反射率が約90%、長周期回折格子による放射損失が約20%となる条件としたものである。本発明の請求項12に記載の発明は、請求項11記載の光制御素子の製造方法

【0025】において、長周期回折格子の形成段階では、シングルモードファイバのコアの中心部分に開口幅が約3mmのスリットを置き、ほぼ45°傾斜したラインアンドスペース金属マスクを用いてレーザ光を照射するようにしたものである。

【0026】本発明の請求項13に記載の発明は、石英基板上にスパッタ堆積装置によりGeをドーブしたSiO<sub>2</sub>を堆積する段階と、前記石英基板を所定圧力の水素中に所定期間放置する段階と、前記石英基板に対して開口マスクを用いてエッチングにより、第1の導波路と第

2の導波路を形成する段階と、第1の導波路と第2の導波路との交差部分に結合部を形成する段階と、第1の導波路と第2の導波路との交差部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの同じ部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を多重形成する段階と、から構成したものである。

【0027】本発明の請求項14に記載の発明は、請求項13記載の光制御素子の製造方法において、結合部は、後で形成する回折格子の格子長に等しい幅から導波路の幅まで寸法が変化するテーパー構造に形成されるようにしたものである。

【0028】本発明の請求項15に記載の発明は、請求項13記載の光制御素子の製造方法において、第1の導波路および第2の導波路は、エッチングの代わりに、レーザ光を照射して形成されるようにしたものである。

【0029】本発明の請求項16に記載の発明は、シングルモードファイバのコアの部分に金属マスクを用いてレーザ光を照射し長周期回折格子を形成する一方、前記コアの前記長周期回折格子を形成した部分の隣側の部分に位相マスクを用いてレーザ光を照射しブラッグ反射回折格子を形成する操作を交互に繰り返し、且つ両端はブラッグ反射回折格子によって終わらせることにより、実質的に長周期回折格子を一對のブラッグ反射回折格子が前後方向から挟んだ形を複数個連続させた複合回折格子を形成する段階と、回折格子形成部分のクラッドの表面の半円柱部を金属膜でコート（被覆）する段階とから成り、前記長周期回折格子とブラッグ反射回折格子とを形成する段階において、長周期回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約 $45^{\circ}$ となるように設定する一方、ブラッグ反射回折格子のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して約 $90^{\circ}$ となるようにし、また、ブラッグ反射回折格子形成段階では、ファイバに所定の張力を印可しながら回折格子を形成するようにしたものである。

【0030】本発明の請求項17に記載の発明は、請求項16記載の光制御素子の製造方法において、ブラッグ反射回折格子形成段階では、複数のブラッグ反射回折格子を形成加工するに当たって、基板であるファイバに最初所定の重量の張力を加えて1つ目のブラッグ反射回折格子を形成し、2つ目以降のブラッグ反射回折格子を形成するに際しては、順次一定重量ずつ印可張力を減らしながら回折格子を形成するようにしたものである。

【0031】本発明の請求項18に記載の発明は、請求項16記載の光制御素子の製造方法ブラッグ反射回折格子形成段階では、複数のブラッグ反射回折格子を形成加工するに当たって、基板であるファイバに最初所定の重量の張力を加えて1つ目のブラッグ反射回折格子を形成し、2つ目以降のブラッグ反射回折格子を形成するに際しては、順次一定重量ずつ印可張力を減らし、最後のブ

ラッグ反射回折格子を形成するに際しては、張力を掛けないで回折格子を形成するようにしたものである。

【0032】以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して詳細に説明する。

【0033】（実施の形態1）本発明の第1の実施の形態を図1により説明する。図1は本発明の第1の実施の形態による光制御素子を示す概略図である。この図に示された光制御素子は、シングルモードファイバ（SMF）のコア18部分にブラッグ反射回折格子11と長周期回折格子12とが同一の領域に多重形成された構造の複合回折格子1を有することを特徴とするものである。

【0034】図1において、符号1はブラッグ反射回折格子11および長周期回折格子12により構成された複合回折格子、18はシングルモードファイバにより構成され、光導波路を形成するとともに複合回折格子1を組み込んだコア、17はコア18と積層関係に設けられたクラッド、13はクラッド17の表面の半面をコート

（被覆）する金属膜であり、これら複合回折格子1と、コア18と、クラッド17と、金属膜13とにより光制御素子を構成している。また、図1において、符号15は光制御素子に向けて照射される入射光を示し、また16は光制御素子に入射された光15が複合回折格子1の部分で回折作用を受けて生成された放射光を示す。ブラッグ反射回折格子11と長周期回折格子12はコア18内の同一の領域に多重形成されて複合回折格子1を構成している。ブラッグ反射回折格子11の格子面はシングルモードファイバ光軸（入射光15の入射方向と同一である）に対して垂直であるが、長周期回折格子12の格子面は、シングルモードファイバの光軸に対して $45^{\circ}$ 傾斜している。

【0035】本実施の形態に係る光制御素子の作製手順は次の通りである。回折格子を形成するシングルモードファイバとしては、圧力 $150\text{ kg/cm}^2$ の水素中に2週間放置したものを用いる。次に、コア18の部分所定の周期で屈折率変調するため、長周期回折格子12は、金属マスク、ブラッグ反射回折格子11は位相マスクを用いて、エキシマレーザ光を照射する。長周期回折格子12のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して $45^{\circ}$ となるようにした。他方、ブラッグ反射回折格子11のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して $90^{\circ}$ となるようにした。長周期回折格子12用マスクの周期は $475\text{ }\mu\text{m}$ 、ブラッグ反射回折格子11用マスクの周期は $0.54\text{ }\mu\text{m}$ を中心に $1\text{ nm/mm}$ の比率 $\Delta\Lambda$ で変動しているものを用いる。マスクを取り替えて、同一場所にエキシマレーザ光を照射する。いずれも $3\text{ mm}$ の開口スリットを用いる。従って格子長はともに $3\text{ mm}$ である。エキシマレーザ光の照射量は、それぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子11の反射率が $\sim 100\%$ （殆ど $100\%$ に近いという意味である）、長周期回折格子12による放射損失が $30\%$ となる条件とする。回

折格子形成部分のクラッド17の表面の半円柱部を金属膜13でコート（被覆）する。

【0036】このようにして作製した複合回折格子1の放射特性は以下の通りである。ブラッグ反射回折格子11がチャープ回折格子であるためそれによる反射は、各波長により光軸方向で空間的に違った場所で反射する。一方、長周期回折格子12により、それと周期 $\Lambda_1$ と位相整合が取れるクラッドモード波長の光が放射モードに変換され、放射光16として放射される。従って、 $\Delta\Lambda \cdot \Lambda_1$ の波長周期0.7nmで干渉し、特定の波長の放射光の放射位置も光軸方向で空間的に周期的となる。異なる波長の光を入射光15としてこの複合回折格子1に入射した時、放射光16の放射位置が変わるのが赤外線用CCDカメラで観測される。また、長周期回折格子12を45°傾斜させ、さらにクラッド17の表面の半面を金属膜13によりコートしてあるので、放射の指向性は、±10°と良好である。以上からこの複合回折格子1によりファイバの伝搬光を分光分散できることが確認される。

【0037】本実施の形態の、格子長、ブラッグ反射回折格子11の周期およびチャープ量、長周期回折格子12の周期などの構造パラメータや、レーザ照射量などの回折格子作製条件は、一例であり、これに限定されるものでなく、分光帯域幅や目標とする空間分解能により、適宜設定し実施することで、本発明が有効となることは明らかである。

【0038】（実施の形態2）本発明の第2の実施の形態を図2により説明する。図2は本発明の第2の実施の形態による光制御素子を示す概略図である。この図に示された光制御素子は、シングルモードファイバ（SMF）のコア28に形成した長周期回折格子22と、この長周期回折格子22を前後方向から挟んだ一対のブラッグ反射回折格子21とよりなる、いわゆる共振器構造の複合回折格子20を有することを特徴とするものである。

【0039】図2において、符号20はブラッグ反射回折格子21および長周期回折格子22により構成された複合回折格子、28はシングルモードファイバにより構成され、光導波路を形成するとともに複合回折格子20を組み込んだコア、27はコア28と積層関係に設けられたクラッド、23はクラッド27の表面の半面をコート（被覆）する金属膜であり、これら複合回折格子20と、コア28と、クラッド27と、金属膜23とにより光制御素子を構成している。また、図2において、符号25は光制御素子に向けて照射される入射光を示し、また26は光制御素子に入射された光25が複合回折格子20の部分で回折作用を受けて生成された放射光を示す。ブラッグ反射回折格子21と長周期回折格子22とは、コア28に形成した長周期回折格子22を一対のブラッグ反射回折格子21が前後方向（図2中では左右方

向）から挟んだ構成をとっており、いわゆる共振器構造の複合回折格子20を形成している。ブラッグ反射回折格子21の格子面はシングルモードファイバの光軸（入射光25の入射方向と同一である）に対して垂直であるが、長周期回折格子22の格子面は、シングルモードファイバの光軸に対して45°傾斜している。

【0040】本実施の形態に係る光制御素子の作製手順は次の通りである。回折格子を形成するシングルモードファイバとしては、実施の形態1と同様に、圧力150kg/cm<sup>2</sup>の水素中に2週間放置したものを用いる。次に、コア18の部分所定の周期で屈折率変調するため、長周期回折格子22は金属マスク、ブラッグ反射回折格子21は位相マスクを用いて、エキシマレーザ光を照射する。長周期回折格子22のマスクは回折格子面がコアの光軸に対して45°となるようにする。他方、ブラッグ反射回折格子21のマスクは回折格子面がコアの光軸に対して90°となるようにする。長周期回折格子22の周期は475μmである。2つのブラッグ反射回折格子21の周期は0.54μmである。長周期回折格子22、ブラッグ反射回折格子21の格子長はともに3mmである。複合回折格子20の実際の作製に当たっては、まず中心に幅3mmの遮蔽マスクを置き、その両側に位相マスクを用いて2つのブラッグ反射回折格子21を形成する。しかる後開口幅3mmのスリットを置き45°傾斜したラインアンドスペース金属マスクにより長周期回折格子22を形成する。エキシマレーザ光の照射量は、ブラッグ反射回折格子21、長周期回折格子22がそれぞれ単独の場合、ブラッグ反射回折格子21の反射率が90%、長周期回折格子22による透過損失が20%となる条件とした。さらに、長周期回折格子22の形成部分のクラッド27の表面の半円柱部を金属コートする。

【0041】図3は、この複合回折格子20の特性を示す図である。測定は、光源に1.56μmスーパーLEDを用いる。放射光26は、赤外線用CCDカメラで観測し、ラインプロファイルから強度を測定する。図3（a）は放射光26の透過スペクトルを示す図であり、図3（b）は光軸に垂直な面内の放射光の指向特性を示す図である。格子の傾斜面の法線と光軸とを含む面と、光軸に垂直な面との交線方向からはずれるにしがって、放射光強度が減衰し、この交線と垂直な方向ではほとんど放射されない。図3（a）から放射光のピーク半値幅は、1.560μm、1nmである。また、図3（b）から指向性がよいことがわかる。長周期回折格子22の格子長は3mmと短いので、位相整合条件はゆるやかであり放射モードの波長選択幅はブロードであるため、放射光26の波長はブラッグ反射回折格子21により決まる。また、半値幅は共振器のQ値すなわちブラッグ反射回折格子21の反射率で決まっている。長周期回折格子22、ブラッグ反射回



折格子 2 1 の格子長および周期は、この例の値に限定されるものでないことは自明であり、特に、ブラッグ反射回折格子 2 1 の周期は放射光としてファイバから外部へ取り出す波長を選択する上で重要である。

【 0 0 4 2 】 本実施の形態の、格子長、長周期回折格子 2 2 の周期、ブラッグ反射回折格子 2 1 の周期などの構造パラメータや、レーザ照射量などの回折格子作製条件は、一例を示したものであり、これに限定されるものでなく、分光帯域幅や目標とする空間分解能により、適宜設定し実施することで、本発明が有効となることは明らかである。

【 0 0 4 3 】 ( 実施の形態 3 ) 本発明の第 3 の実施の形態を図 4 で説明する。図 4 は本発明の第 3 の実施の形態による光制御素子を示す概略図である。実施の形態 1 では、光導波路としてシングルモードファイバを用いているが、石英系の平面基板上の光導波路を用いても同様にこのような複合回折格子 4 0 が作製できる。本第 3 の実施の形態に係る光制御素子はこのようにして作成されるものである。この場合には、基板平面内で導波路の光軸に対して垂直に指向性よく放射されるので、複合回折格子 4 0 の位置に第二の光導波路 4 9 を第 1 の光導波路 4 8 と直角に設けることにより、所定の波長の光を選択的に取り出すことができる。

【 0 0 4 4 】 図 4 において、符号 4 0 はブラッグ反射回折格子 4 1 および長周期回折格子 4 2 により構成された複合回折格子、4 8 は基板平面内において複合回折格子 4 0 に向けて設けられた第 1 の光導波路、4 9 は上記光導波路 4 8 に対して直角の方向に延びて設けられた第 2 の光導波路、4 4 は複合回折格子 4 0 と第 2 の光導波路 4 9 とを接続する結合部であり、これら複合回折格子 4 0 と、第 1 の光導波路、4 8 と、第 2 の光導波路 4 9 と、結合部 4 4 とにより光制御素子を構成している。また、図 4 において、符号 4 5 は光制御素子に向けて照射される入射光を示し、また 4 6 は光制御素子に入射された光 1 5 が複合回折格子 4 0 の部分で回折作用を受けて生成された放射光を示す。ブラッグ反射回折格子 4 1 と長周期回折格子 4 2 は基板内の同一の領域に多重形成されて複合回折格子 4 0 を構成している。

【 0 0 4 5 】 本実施の形態に係る光制御素子の作製手順は次の通りである。石英基板上にスパッタ堆積装置により Ge をドーブした SiO<sub>2</sub> を堆積し、圧力 150 kg/cm<sup>2</sup> の水中に 2 週間放置する。T 字状の開口マスクを用いてエッチングにより、第 1 の導波路 4 8 および第 2 の導波路 4 9 を形成する。もしくは、同様のパターンのマスを用いてエキシマレーザ光を照射し導波路を形成する。第 2 の導波路 4 9 の第 1 の導波路 4 8 との結合部 4 4 は、結合をよくし、放射光 4 6 を低損失で伝搬させるため図のように、後で形成する複合回折格子 4 0 の格子長に等しい幅から通常のシングルモード導波路の幅まで変化するテーパー構造とする。しかる後、交差部に

実施の形態 1 と同様に、ブラッグ反射回折格子 4 1 と長周期回折格子 4 2 を同一の場所に重ねて作製し複合回折格子 4 0 を形成する。

【 0 0 4 6 】 本実施の形態に係る複合回折格子 4 0 においては、結合部 4 4 が第 1 の導波路 4 8 に密着しており、屈折率差のない光路により第二の光導波路 4 9 と強く結合しているので、放射光 4 6 をより効率的に取り出し、光 4 3 を取り出すことが可能となる。この素子の取り出し光 4 3 のピークは、1.560 μm、であり、半値幅は、1 nm である。取り出し効率は 70 % 以上である。

【 0 0 4 7 】 ( 実施の形態 4 ) 本発明の第 4 の実施の形態を図 5 で説明する。図 5 は本発明の第 4 の実施の形態による光制御素子を示す概略図である。先に説明した第 2 の実施の形態では、シングルモードファイバに 1 個の複合回折格子 2 0 を形成し、所定の波長の光を放射させたが、実施の形態 4 では、ファイバの伝搬光をスペクトル分光して複数の波長成分に空間的に分散するため、複数の複合回折格子を同一のシングルモードファイバに形成する点が特徴である。

【 0 0 4 8 】 図 5 において、符号 5 0 は複数のブラッグ反射回折格子 5 1 および複数の長周期回折格子 5 2 により構成された複数の複合回折格子、5 8 はシングルモードファイバから成り上記複数の複合回折格子 5 0 を組み込んだコア、5 7 はコア 5 8 と積層関係に設けられたクラッド、5 3 はクラッド 5 7 の表面の半面をコート（被覆）する金属膜であり、これら複合回折格子 5 0 と、コア 5 8 と、クラッド 5 7 と、金属膜 5 3 とにより光制御素子を構成している。また、図 5 において、符号 5 5 は光制御素子に向けて照射される入射光を示し、また 5 6 は光制御素子に入射された光 5 5 が複合回折格子 5 0 の部分で回折作用を受けて生成された放射光を示す。ブラッグ反射回折格子 5 1 と長周期回折格子 5 2 とは、コア 5 8 内において前後方向に交互に形成され、且つ両端はブラッグ反射回折格子 5 1 によって終わるように配列することにより、実質的に長周期回折格子 5 2 を一対のブラッグ反射回折格子 5 1 が前後方向から挟んだ形を複数の連続させた構成をとっており、いわゆる共振器構造の複合回折格子 5 0 を複数の形成している。ブラッグ反射回折格子 5 1 の格子面はシングルモードファイバの光軸（入射光 5 5 の入射方向と同一である）に対して垂直であるが、長周期回折格子 5 2 の格子面はシングルモードファイバの光軸に対して 45° 傾斜している。

【 0 0 4 9 】 本実施の形態の複合回折格子 5 0 を詳細に述べると、図 5 に示すように、この複合回折格子 5 0 の構造は、格子長が、それぞれ 1 mm、2 mm のブラッグ反射回折格子 5 1 を 6 個と、45° 傾斜長周期回折格子 5 2 を 5 個、連続的に繰り返したものである。複合回折格子 5 0 の全長は 16 mm である。ただし、ブラッグ反



射回折格子の反射ピーク波長は、1 nm間隔でシフトし、半値幅は1 nmであり、ピーク反射率は30~50%である。長周期回折格子52を挟んでいる前後のブラッグ反射回折格子51の反射ピークは、1 nmずれているが、半値幅が1 nmであるので、その中間の波長では、ともにピークの半分の反射率である。従って、この中間の波長での共振器を構成しているため、それぞれは実施の形態1と同様に波長選択的に放射機能を有する複合回折格子となっている。勿論、このように共振器の反射鏡として異なる反射ピークのブラッグ反射回折格子でなく、同じ反射ピーク波長のものを用いてもよい。この場合両端以外のブラッグ反射回折格子51は格子長1 mmのピーク波長が1 nmずれた2つのもので構成される。このような構成では複合回折格子の全長は20 mmとなる。

【0050】本実施の形態に係る光制御素子の作製手順は次の通りである。回折格子を形成するシングルモードファイバとしては、実施の形態1と同様に、圧力150 kg/cm<sup>2</sup>の水素中に2週間放置したものを用いる。次に、コア18の部分所定の周期で屈折率変調するため、長周期回折格子52は金属マスク、ブラッグ反射回折格子51は位相マスクを用いて、エキシマレーザ光を照射する。長周期回折格子12のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して45°となるようにした。他方、ブラッグ反射回折格子11のマスクは、回折格子面がコアの光軸に対して90°となるようにした。

【0051】1 nm間隔のブラッグ反射回折格子51を形成するには、1.560 μmの周期が均一な位相マスクを用いる。波長を変えるため、基板であるファイバに所定の張力を印可して回折格子を形成する。あらかじめ張力を印可して回折格子を形成すれば張力を印可しない使用状態ではブラッグ波長は短くなる。張力による波長の変化は、~80 g重/nmであるので、最初400 g重の張力を加え、順次80 g重ずつ印可張力を減らし、最後の6個目は、張力を掛けずに形成することで、反射ピーク波長が1.555~1.560 μmの回折格子が形成される。また、格子長を1 mmとするため、開口幅1 mmのスリットを用いる。格子長が非常に短いため、周期が均一な位相マスクを用いても半値幅1 nmの回折格子が形成できる。

【0052】45°傾斜長周期回折格子52の形成方法は実施の形態1とほぼ同じである。すなわち上述したように、長周期回折格子12は、金属マスクを用いて、エキシマレーザ光を照射するが、このとき長周期回折格子12のマスクは回折格子面がコアの光軸に対して45°となるようにする。しかる後、実施の形態1と同様に放射光の放射方向を一方に集中するため、16 mmの複合回折格子のクラッド表面の半円柱部を金属膜53でコートする。

【0053】このようにして作製した複合回折格子50

の入力端に当たるシングルモードファイバ(SMF)を例えばフェムト秒ファイバレーザの出力端と融着により接続し、図5に示すように入射光55としてフェムト秒パルス光を入射すれば広いスペクトル幅のフェムト秒光パルスを高効率で分光分散できる。このように分光分散された各成分の放射光56をそれぞれの信号により位相もしくは強度変調し、その各々を、前者と全く同じ複合回折格子50を入出力を逆にして用い対応する波長のポートに入力することにより多重信号によりコード化されたパルス列信号が得られる。また、波長多重光信号の伝送出力端に融着接続することにより各チャンネルの信号に分離できる。さらに、この複合回折格子50による光制御素子の各出力側に波長が各共振器の共振波長に合った光信号を入射光55として入力することにより、合波され多重信号が得られる。このように光制御素子は、波長多重光通信の高効率マックス、デマックスに用いることができる。

【0054】本実施の形態では、複合回折格子50の全長が16 mmと比較的長く、また、1 nm間隔で5チャンネルの分光分散であるが、格子長、ブラッグ反射回折格子51の周期、長周期回折格子52の周期などの構造パラメータや、レーザ照射量など作製条件は本実施の形態に限定されるものではなく、構造パラメータや作製条件を適宜設定することにより、さらに短素子長化、分光帯域の拡大、チャンネル数の増大が十分可能である。また、波長を1 nmずらしたブラッグ反射回折格子の作製に、張力を印可する方法を用いたが、周期の異なる位相マスクあるいはチャープマスクを用いてを同様に作製できる。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、本発明に基づいた複合回折格子による光制御素子は、超短パルスのスペクトルの高効率分光分散による多数信号の光コード化が実現される。かつ、波長多重光通信の高効率マックス、デマックスが達成できる。これにより1 Tbps以上の大容量、超高速信号の伝送を可能する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による光制御素子を示す概略図

【図2】本発明の第2の実施の形態による光制御素子を示す概略図

【図3】本発明の第2の実施の形態による光制御素子の特性を示す図

【図4】本発明の第3の実施の形態による光制御素子を示す概略図

【図5】本発明の第4の実施の形態による光制御素子を示す概略図

【図6】(a) 従来例である光制御素子の長周期回折格子の周期に対する放射モードピークの依存特性を説明する図

(b) 従来例である光制御素子の長周期回折格子の形成時間に対する透過損失スペクトルの変化の特性を説明する図

【符号の説明】

10、20、40、50 複合回折格子

11、21、41、51 ブラッグ反射回折格子

12、22、42、52 長周期回折格子

13、23、53 金属膜

15、25、45、55 入射光

16、26、46、56 放射光

17、27、57 クラッド

18、28、58 コア

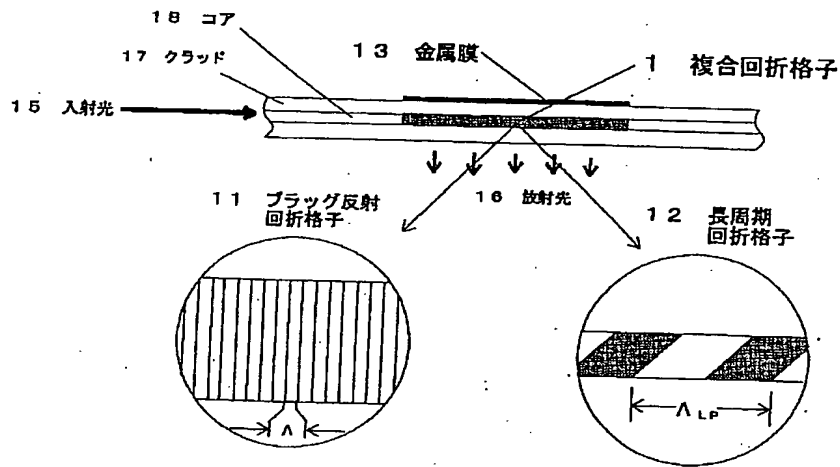
43 取り出し光

44 結合部

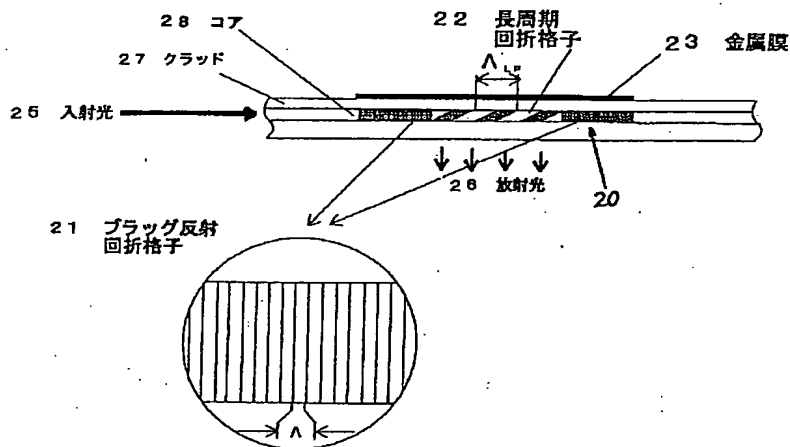
48 第1の導波路

49 第2の導波路

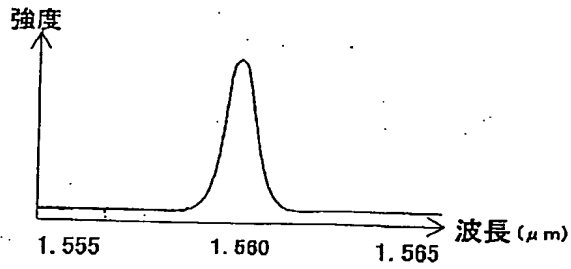
【図1】



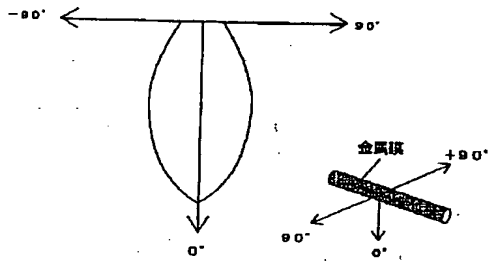
【図2】



【図 3】

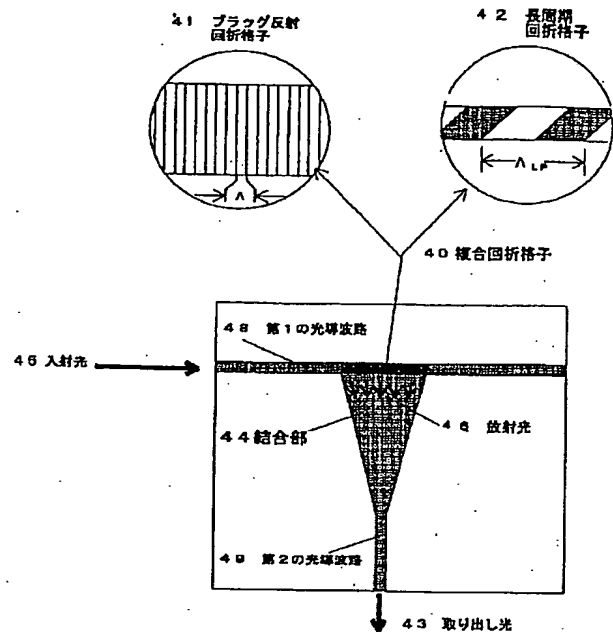


(a) 放射光スペクトル

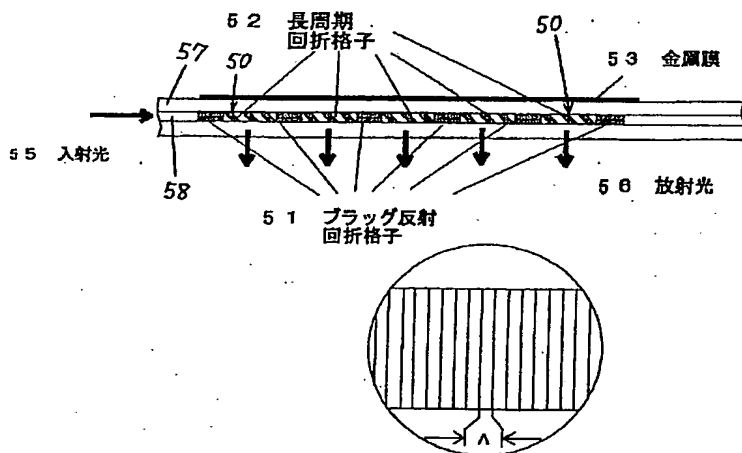


(b) 放射光の指向性

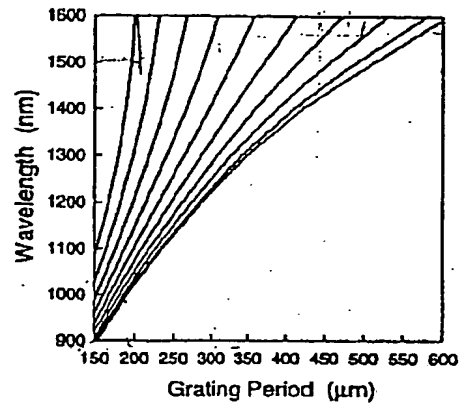
【図 4】



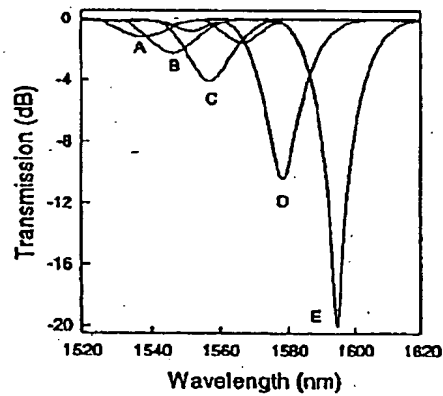
【図 5】



【図 6】



( a ) 長周期回折格子の放射モード  
ピークの周期依存性



( b ) 長周期回折格子による透過損失の  
照射時間依存性

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-326666

(43)Date of publication of application : 26.11.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/16

(21)Application number : 10-137263

(71)Applicant : MATSUSHITA GIKEN KK

(22)Date of filing : 19.05.1998

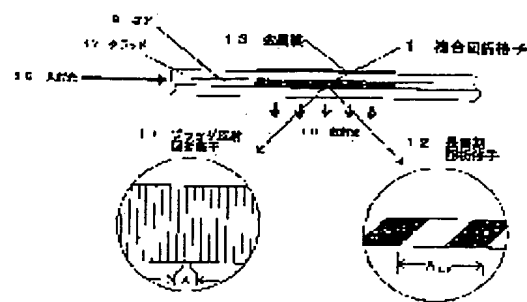
(72)Inventor : TOYODA YUKIO  
BABA AYAKO

## (54) OPTICAL CONTROL ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To actualize large-capacity ultra-high speed information transmission by a multiplexing system and to miniaturize the optical control element for the transmission by integration.

**SOLUTION:** As the optical control element, a composite diffraction grating 1 is used which has both a Bragg reflecting diffraction grating 11 for giving narrow-band wavelength selectivity to the optical control element and a long-cycle diffraction grating 12 inclination at about 45° to an axis of wavelength propagation for performing efficient radiation mode conversion and obtaining emitted light with high radiation directivity. The functions of both the Bragg reflecting diffraction grating and long-cycle diffraction grating 12 completely overlap to efficiently obtain emission spectral diffusion with narrow-band wavelength selectivity and light directivity. The composite diffraction grating 1 has a Bragg reflecting chirp diffraction grating 11 and an about 45° - inclination long-cycle diffraction grating 12 placed over the other at the same place as the optical waveguide and Bragg reflecting diffraction gratings 11 are arranged as reflecting mirrors at both the ends of the 45° -inclination long-cycle diffraction grating 12 to constitute a resonator structure.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of ]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

- [Claim 1] The optical controlling element characterized by having the compound diffraction grating constituted from a Bragg reflection diffraction grating and a long period diffraction grating by the optical waveguide of this \*\* in order to carry out conversion control of the light which spreads optical waveguide at radiation mode.
- [Claim 2] The optical controlling element characterized by having at least one or more structures where multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating of a compound diffraction grating and the long period diffraction grating was carried out to the same field, in an optical controlling element according to claim 1.
- [Claim 3] The optical controlling element characterized by the period of the Bragg reflection diffraction grating of this \*\* by which multiplex formation of the long period diffraction grating was carried out to the same field carrying out the chirp in an optical controlling element according to claim 2.
- [Claim 4] The optical controlling element characterized by about 45 degrees of lattice planes of a long period diffraction grating inclining to the optical axis of the optical waveguide concerned in an optical controlling element according to claim 1 to 3.
- [Claim 5] The optical controlling element to which the lattice plane of a Bragg reflection diffraction grating is characterized by the perpendicular thing to the optical axis of the optical waveguide concerned in an optical controlling element according to claim 1 to 4.
- [Claim 6] The optical controlling element to which a part of component concerned is characterized by being the structure of having a Bragg reflection diffraction grating to the both ends of the long period diffraction grating of this \*\* at least in an optical controlling element according to claim 1 to 5.
- [Claim 7] The optical controlling element characterized by having the compound diffraction grating of the resonator structure which consists of a long period diffraction grating and a Bragg reflection diffraction grating of the pair whose long period diffraction grating of this was pinched from the cross direction in an optical controlling element according to claim 6.
- [Claim 8] A Bragg reflection diffraction grating and a long period diffraction grating are an optical controlling element which is formed [ in / on an optical controlling element according to claim 6 and / incore ] in a cross direction by turns, and is characterized by both ends having the compound diffraction grating of two or more resonator structures which are arranged and change so that it may finish by the Bragg reflection diffraction grating.
- [Claim 9] The optical controlling element which consists of the bond part which connects the 1st optical waveguide which was able to prepare the Bragg reflection diffraction grating, the compound diffraction grating constituted by the long period diffraction grating, and the compound diffraction grating, the 2nd optical waveguide prepared in the direction of a right angle by extending to the 1st optical waveguide of the above, and a compound diffraction grating and the 2nd optical waveguide.
- [Claim 10] The phase which uses a phase mask for the part with said same core, irradiates a laser beam, and carries out multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating while using a metal mask for the part of the core of a single mode fiber, irradiating a laser beam and forming a long period diffraction grating. In the phase which consists of the phase which carries out the coat of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and carries out multiplex formation of said long period



diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating It is the manufacture approach of the optical controlling element characterized by considering as the conditions from which it is made for a diffraction-grating side to become about 90 degrees to the optical axis of a core, and the radiation loss according [ the reflection factor of a Bragg reflection diffraction grating ] to a -100% and long period diffraction grating becomes about 30% when the dose of a laser beam is independent respectively.

[Claim 11] While using a metal mask for the part of the core of a single mode fiber, irradiating a laser beam and forming a long period diffraction grating The phase which uses a phase mask for the part of part [ in which said long period diffraction grating of said core was formed ] order both sides, irradiates a laser beam, and forms a Bragg reflection diffraction grating, In the phase which consists of the phase which carries out the coat (covering) of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating In the phase where a diffraction lattice plane forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating by making it become about 90 degrees to the optical axis of a core Put the electric shielding mask of 3mm of \*\*\*\* on the core of the core part of a fiber first, use a phase mask for the both sides, and two Bragg reflection diffraction gratings are formed. While putting a slit with an aperture width of about 3mm on a part for a core and forming a long period diffraction grating in after an appropriate time with a metal mask, the exposure of a laser beam The manufacture approach of the optical controlling element characterized by the reflection factor of a Bragg reflection diffraction grating considering as the conditions from which the radiation loss by the long period diffraction grating becomes about 20% about 90% when respectively independent.

[Claim 12] The manufacture approach of the optical controlling element according to claim 11 characterized by irradiating a laser beam using Rhine and the tooth-space metal mask which put the slit whose aperture width is about 3mm on a part for the core of the core of a single mode fiber in the formation phase of a long period diffraction grating, and inclined about 45 degrees.

[Claim 13] An opening mask is used to the phase which deposits SiO<sub>2</sub> which doped germanium with sputter deposition equipment on a quartz substrate, the phase which carries out predetermined period neglect of said quartz substrate into the hydrogen of a predetermined pressure, and said quartz substrate. By etching The phase which forms the 1st waveguide and 2nd waveguide, and the phase which forms a bond part in a part for the intersection of the 1st waveguide and the 2nd waveguide, the phase which uses a phase mask for the part with said same core, irradiates a laser beam, and carries out multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating while using a metal mask for a part for the intersection of the 1st waveguide and the 2nd waveguide, irradiating a laser beam and forming a long period diffraction grating -- since -- the manufacture approach of the optical controlling element which changes.

[Claim 14] A bond part is the manufacture approach of the optical controlling element according to claim 13 characterized by being formed in the taper structure where a dimension changes from width of face equal to the grid length of the diffraction grating formed later to the width of face of waveguide.

[Claim 15] The 1st waveguide and 2nd waveguide are the manufacture approach of the optical controlling element according to claim 13 characterized by irradiating a laser beam and being formed instead of etching.

[Claim 16] While using a metal mask for the part of the core of a single mode fiber, irradiating a laser beam and forming a long period diffraction grating By repeating by turns the actuation which uses a phase mask for the part by the side of the next door of the part in which said long period diffraction grating of said core was formed, irradiates a laser beam, and forms a Bragg reflection diffraction grating, and making both ends finish by the Bragg reflection diffraction grating The phase which forms the compound diffraction grating which two or more forms where the long period diffraction grating of the Bragg reflection diffraction grating of a pair was substantially pinched from the cross direction were made to follow, In the phase which consists

of the phase which carries out the coat (covering) of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating. While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating. The manufacture approach of the optical controlling element characterized by forming a diffraction grating, making it a diffraction lattice plane become about 90 degrees to the optical axis of a core, and carrying out the seal of approval of the predetermined tension to a fiber in a Bragg reflection diffraction-grating formation phase.

[Claim 17] The manufacture approach of the optical controlling element according to claim 16 which is characterized by forming a diffraction grating, facing applying the tension of beginning predetermined weight to the fiber which is a substrate, forming the 1st Bragg reflection diffraction grating, and forming the Bragg reflection diffraction grating after the 2nd, and reducing sequential fixed weight [ every ] seal-of-approval tension in a Bragg reflection diffraction-grating formation phase in carrying out formation processing of two or more Bragg reflection diffraction gratings.

[Claim 18] In carrying out formation processing of two or more Bragg reflection diffraction gratings in a Bragg reflection diffraction-grating formation phase It faces applying the tension of beginning predetermined weight to the fiber which is a substrate, forming the 1st Bragg reflection diffraction grating, and forming the Bragg reflection diffraction grating after the 2nd. The manufacture approach of the optical controlling element according to claim 16 characterized by forming a diffraction grating without reducing sequential fixed weight [ every ] seal-of-approval tension, facing forming the last Bragg reflection diffraction grating and applying tension.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the optical controlling element widely used for fields, such as optical communication and optical information processing.

[0002]

[Description of the Prior Art] as the example of representation of the conventional technique which carries out conversion control of the light which spreads optical waveguide to radiation mode -- Optics Letters Vol 21p336 (1996) -- there is reference. Drawing 6 shows the dependency ( drawing 6 (a)) of the radiation mode peak over the period of the long period diffraction grating quoted from Fig.1 in the reference concerned, and Fig.2, and the property ( drawing 6 (b)) of change of a transmission loss spectrum over the formation time amount (namely, irradiation time of excimer laser light) of a long period diffraction grating. Two or more radiation modes exist to the period of a specific diffraction grating so that clearly also from drawing 6 (a), a diffraction grating -- a part of transmitted light -- since it changes into radiation mode, corresponding to a radiation mode peak, a loss peak appears in a transparency spectrum. while the refractive index of a core changes with formation of a diffraction grating, in order to depend for the peak of each radiation mode on the refractive-index difference of a core and a clad -- progress of formation of a diffraction grating -- every moment -- changing -- drawing 6 (b) -- like -- not only the loss peak of a transparency spectrum but spectral band width -- although -- it changes. The device of functions which have a transmission loss like in a specific wavelength region, such as a gain flattening filter of an optical amplifier, is producible by selecting the period of a diffraction grating to a precision and controlling the formation condition also by such conventional technique strictly.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in order to set up strictly both the loss peak wavelength of the transmitted light, and the amount of loss so that it may be presumed also from spectrum change of drawing 6 with the above-mentioned conventional technique, strict control of the precision of the period of a diffraction grating and formation conditions is needed, and the stability of formation conditions poses a problem, and it is very difficulty.

[0004] Moreover, although spectral band width becomes narrow so that the spectrum of drawing 6 may show, the irradiation time, i.e., the diffraction-grating formation time amount, of a laser beam, it is difficult to control and produce to 1nm or less. If diffraction-grating length is lengthened, it is possible to narrow a noted field, but although based also on the purpose, die length of 10cm or more is not realistic. Furthermore, it also poses a problem that the light changed into radiation mode spreads the inside of a clad. As mentioned above, when using a loss function, it is not important, but when taking out synchrotron orbital radiation from waveguide and using it, the directivity and the spectral band width of synchrotron orbital radiation become important. For example, in order to carry out the spectrum of the light which spreads waveguide like wave-length multiple telecommunication to each wavelength component, to take it out for it and to use it for it, it is necessary to take out a specific wavelength component with narrow spectral band width with sufficient directivity according to a multiplicity, and becomes absolutely indispensable conditions. Therefore, in order to use the synchrotron orbital radiation by the radiation mode conversion from waveguide in this way, by the approach by the conventional technique, it is completely impossible and will not become possible without

the means by this invention.

[0005] As mentioned above, in the propagation light-emission mode transformation by the long period diffraction grating, the conventional technique, the controllability over wavelength selection is inadequate, there is no directivity, and use of synchrotron orbital radiation has the technical problem that it is completely impossible.

[0006] This invention was made in view of this conventional fault, and the purpose is realizing the miniaturization by accumulation of implementation of the mass ultra high-speed information transmission by multiplex system, and the optical controlling element for it.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The means of this invention for solving the above technical problems is as follows. First, the principle which the light which spreads a fiber by the long period diffraction grating formed in the core of the fiber by the conventional technique is emitted on specific wavelength, and loses is as follows.

[0008] Although the light which spreads the inside of a fiber to stability is in core mode, clad mode exists apart from this and it is emitted out of a propagation \*\*\*\* fiber at stability. Here, when periodic refractive-index change is given to a core and the period  $\lambda$  satisfies the phase matching conditions between the propagation constants ( $\beta_{co}$ ,  $\beta_{cl}(n)$ ) in each following mode, i.e.,  $\beta_{co} - \beta_{cl}(n) = 2\pi/\lambda$ , the light which had spread core mode shifts to the  $n$ -th clad mode. The light which shifted to clad mode is emitted without already continuing spreading the inside of a fiber for a long time, and serves as radiation mode. For the propagation constant  $\beta$  of the light of wavelength  $\lambda$ , when the effective refractive index  $n_{eff}$  is used, since it is  $\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$ , the above-mentioned phase matching conditions are  $n_{co} - n_{cl}(p) = \lambda/\lambda(p)$  to the  $p$ -th clad mode.

It becomes.

[0009] Drawing 6 shown above is the periodic dependency of a long period diffraction grating of the peak wavelength of the radiation mode for which it asked from this formula. Of course, since the amount of shift to clad mode increases depending on the refractive-index variation of a core, the propagation loss by radiation mode increases in connection with the irradiation time of a laser beam. Moreover, since an effective refractive index changes by the refractive-index variation of a core as shown in an upper type, peak wavelength also changes with the irradiation time of a laser beam. If irradiation time of a laser beam is made [ many ] here, radiant quantities will increase more, spectral band width will become to some extent narrow at coincidence, but the means for receiving the directivity of the synchrotron orbital radiation which is another technical problem is as follows at the same time it is inadequate and solves this technical problem, since narrower spectral band width is needed when using synchrotron orbital radiation.

[0010] It is an approach using the compound diffraction grating of the structure of having long period \*\*\*\*\* of 45-degree inclination to the waveguide propagation shaft for obtaining the synchrotron orbital radiation which carries out radiation mode conversion efficiently with the Bragg reflection diffraction grating for giving the wavelength selection nature of a narrow-band, and has high radiation directivity. The means by this invention offers the concrete structure of this compound diffraction grating, in order to obtain the synchrotron orbital radiation which the function of both such a Bragg reflection diffraction grating and the long period diffraction grating of 45-degree inclination piles up completely, is put together, and has the wavelength selection nature of a narrow-band, and optical directivity efficiently. The structure of a compound diffraction grating is resonator structure which has arranged the Bragg reflection diffraction grating as a reflecting mirror to the both ends of the long period diffraction grating of 45-degree inclination, as drawing 1 of the gestalt of the below-mentioned operation shows. The synchrotron orbital radiation which has the wavelength selection nature of a narrow-band and directivity how by such compound diffraction grating can be obtained efficiently, and it explains whether the technical problem of the conventional technique is solved. First, although it can say theoretically that vertical good directivity is obtained to the waveguide propagation direction by 45 degrees inclining a long period diffraction grating to a waveguide propagation shaft, this is checked also from observation of the synchrotron orbital radiation of the diffraction grating made as an experiment.

[0011] Moreover, when the grid length is short, while spectral band width is wide and the radiant quantities in a peak decrease in conversion to that of the radiation mode by the long period

diffraction grating, a wavelength dependency can be disregarded in the fixed wavelength region near a peak. Therefore, the short long period diffraction grating of such grid length is formed in a resonator, in resonant wavelength, conversion to radiation mode will be amplified by the resonance effectiveness, and about 100% of radiation will be attained. However, if the predetermined Bragg reflection diffraction grating of the reflecting mirror of a resonator is used, the synchrotron orbital radiation of the wavelength of a narrow-band will be obtained very efficiently. If a Bragg reflection diffraction grating is also independent and grid length is short, a reflectance spectrum will become large, but when this constitutes a resonator, i.e., a Fabry-Perot resonator, spectral band width of synchrotron orbital radiation can be narrowed in spectral band width, i.e., this case, from the need of satisfying the resonance effectiveness, i.e., the conditions of phase matching.

[0012] Furthermore, it is changed into the light which carries out the spectrum of the light which spreads waveguide according to each wavelength component, carries out distributed separation spatially, and advances in the direction perpendicular to waveguide by the configuration which arranges to a serial that from which radiation peak wavelength differs such a compound diffraction grating, respectively in the propagation direction of plurality and two or more waveguides as drawing 2 of the gestalt of operation shows. moreover, the direction where the synchrotron orbital radiation by the long period diffraction grating of 45-degree inclination in the above-mentioned example is perpendicular to waveguide -- method \*\* of two -- since reinforcement is halved theoretically on the other hand for a certain reason, as shown in drawing 3 of the gestalt of operation, the use effectiveness of one synchrotron orbital radiation is 2-double-improved by preparing one of the two a reflecting mirror.

[0013] As mentioned above, possible [ of taking out as synchrotron orbital radiation which carried out the spectrum of the light which spreads the impossible waveguide with the conventional technique about the radiation mode conversion by the long period diffraction grating, and was spatially distributed by the compound diffraction grating by this invention ] is carried out, and as the gestalt of operation shows, high-performance-izing of Max in wavelength multiplex optical telecommunications, a demux and an ad, and a drop optical circuit and a deployment of a femtosecond light pulse are attained.

[0014]

[Embodiment of the Invention] In order that invention of this invention according to claim 1 may carry out conversion control of the light which spreads optical waveguide for an optical controlling element at radiation mode, it is made to have the compound diffraction grating constituted from a Bragg reflection diffraction grating and a long period diffraction grating by the optical waveguide of this \*\*, and it has an operation of realizing the miniaturization by accumulation of implementation of the mass ultra high-speed information transmission by multiplex system, and the optical controlling element for it.

[0015] Invention of this invention according to claim 2 has an operation of making it have at least one or more structures where multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating of a compound diffraction grating and the long period diffraction grating was carried out to the same field, and the function of both a Bragg reflection diffraction grating and the long period diffraction grating of 45 - degree inclination piling up completely, being put together, and having the wavelength selection nature of a narrow-band, and optical directivity efficiently, in an optical controlling element according to claim 1.

[0016] the location from which the period of the Bragg reflection diffraction grating of this \*\* by which multiplex formation was carried out was made to carry out the chirp of the invention of this invention according to claim 3 to the field where a long period diffraction grating is the same in the optical controlling element according to claim 2, and the reflection by it is spatially different in the direction of an optical axis with each wavelength -- reflecting -- this compound diffraction grating 1 -- the propagation light of a fiber -- a spectrum -- it has an operation that it can distribute.

[0017] In an optical controlling element according to claim 1 to 3, the lattice plane of a long period diffraction grating makes about 45 degrees of invention of this invention according to claim 4 incline to the optical axis of the optical waveguide concerned, and it has an operation that vertical good directivity is obtained to the waveguide propagation direction.

[0018] In an optical controlling element according to claim 1 to 4, the lattice plane of a Bragg reflection diffraction grating makes perpendicular invention of this invention according to claim

5 to the optical axis of the optical waveguide concerned.

[0019] Invention of this invention according to claim 6 has the operation of conversion in an optical controlling element according to claim 1 to 5 in the light to which it is made for a part of component concerned to have a Bragg reflection diffraction grating to the both ends of the long period diffraction grating of this \*\*, it carries out the spectrum of the light which spreads waveguide according to each wavelength component, carries out distributed separation spatially, and advances in the direction perpendicular to waveguide at least.

[0020] Invention of this invention according to claim 7 has the operation of conversion in an optical controlling element according to claim 6 in the light which it is made to have the compound diffraction grating of the resonator structure which consists of a long period diffraction grating and a Bragg reflection diffraction grating of the pair whose long period diffraction grating of this was pinched from the cross direction, carries out the spectrum of the light which spreads waveguide according to each wavelength component, carries out distributed separation spatially, and advances in the direction perpendicular to waveguide.

[0021] It is made to have the compound diffraction grating of two or more resonator structures where it is arranged and a Bragg reflection diffraction grating and a long period diffraction grating change so that both ends may be finished by the Bragg reflection diffraction grating by being formed [ in / in invention of this invention according to claim 8 / in core ] in a cross direction by turns, in an optical controlling element according to claim 6.

[0022] Invention of this invention according to claim 9 consists of bond parts which connect the 1st optical waveguide which was able to prepare the compound diffraction grating constituted by the Bragg reflection diffraction grating and the long period diffraction grating in the optical controlling element, and the compound diffraction grating, the 2nd optical waveguide prepared in the direction of a right angle by extending to the 1st optical waveguide of the above, and a compound diffraction grating and the 2nd optical waveguide.

[0023] While invention of this invention according to claim 10 uses a metal mask for the part of the core of a single mode fiber for an optical controlling element, irradiates a laser beam and forms a long period diffraction grating The phase which uses a phase mask for the part with said same core, irradiates a laser beam, and carries out multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating, In the phase which consists of the phase which carries out the coat of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and carries out multiplex formation of said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating It is made for a diffraction-grating side to become about 90 degrees to the optical axis of a core. Moreover, the exposure of a laser beam When respectively independent, the reflection factor of a Bragg reflection diffraction grating -100%, It considers as the conditions from which the radiation loss by the long period diffraction grating becomes about 30%, and has an operation of manufacturing simply and quickly the optical controlling element which realizes the implementation and the miniaturization of a mass ultra high-speed information transmission by multiplex system.

[0024] While invention of this invention according to claim 11 uses a metal mask for the part of the core of a single mode fiber, irradiates a laser beam and forms a long period diffraction grating The phase which uses a phase mask for the part of part [ in which said long period diffraction grating of said core was formed ] order both sides, irradiates a laser beam, and forms a Bragg reflection diffraction grating, In the phase which consists of the phase which carries out the coat (covering) of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating In the phase where a diffraction lattice plane forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating by making it become about 90 degrees to the optical axis of a core Put the electric shielding mask of 3mm of \*\*\*\* on the core of the core part of a fiber first, use a phase mask for the both sides, and two Bragg reflection diffraction gratings are formed. While putting a slit with an aperture width of about 3mm on a part for a core and forming a long period diffraction grating in after an appropriate time with a metal mask, the exposure of a laser beam When respectively

independent, the reflection factor of a Bragg reflection diffraction grating considers as the conditions from which radiation loss by the long period diffraction grating becomes about 20% about 90%. Invention of this invention according to claim 12 the manufacture approach [0025] of an optical controlling element according to claim 11. It is alike and sets, and the slit whose aperture width is about 3mm is put on a part for the core of the core of a single mode fiber, and it is made to irradiate a laser beam in the formation phase of a long period diffraction grating using Rhine and the tooth-space metal mask which inclined about 45 degrees.

[0026] The phase where invention of this invention according to claim 13 deposits SiO<sub>2</sub> which doped germanium with sputter deposition equipment on a quartz substrate, An opening mask is used to the phase which carries out predetermined period neglect of said quartz substrate into the hydrogen of a predetermined pressure, and said quartz substrate. By etching The phase which forms the 1st waveguide and 2nd waveguide, and the phase which forms a bond part in a part for the intersection of the 1st waveguide and the 2nd waveguide, the phase which uses a phase mask for the part with said same core, irradiates a laser beam, and carries out multiplex formation of the Bragg reflection diffraction grating while using a metal mask for a part for the intersection of the 1st waveguide and the 2nd waveguide, irradiating a laser beam and forming a long period diffraction grating -- since -- it constitutes.

[0027] In the manufacture approach of an optical controlling element according to claim 13, as for invention of this invention according to claim 14, a dimension is formed in the taper structure of changing, from width of face with a bond part equal to the grid length of the diffraction grating formed later to the width of face of waveguide.

[0028] Invention of this invention according to claim 15 irradiates a laser beam to the 1st waveguide and 2nd waveguide instead of etching in the manufacture approach of an optical controlling element according to claim 13, and it is made to be formed.

[0029] While invention of this invention according to claim 16 uses a metal mask for the part of the core of a single mode fiber, irradiates a laser beam and forms a long period diffraction grating By repeating by turns the actuation which uses a phase mask for the part by the side of the next door of the part in which said long period diffraction grating of said core was formed, irradiates a laser beam, and forms a Bragg reflection diffraction grating, and making both ends finish by the Bragg reflection diffraction grating The phase which forms the compound diffraction grating which two or more forms where the long period diffraction grating of the Bragg reflection diffraction grating of a pair was substantially pinched from the cross direction were made to follow, In the phase which consists of the phase which carries out the coat (covering) of the semicircle pillar section of the front face of the clad of a diffraction-grating formation part by the metal membrane, and forms said long period diffraction grating and Bragg reflection diffraction grating While setting up the mask of a long period diffraction grating so that a diffraction-grating side may become about 45 degrees to the optical axis of a core, the mask of a Bragg reflection diffraction grating It is made for a diffraction lattice plane to become about 90 degrees to the optical axis of a core, and a diffraction grating is formed in a Bragg reflection diffraction-grating formation phase, carrying out the seal of approval of the predetermined tension to a fiber.

[0030] Invention of this invention according to claim 17 is set to the manufacture approach of an optical controlling element according to claim 16. In a Bragg reflection diffraction-grating formation phase In carrying out formation processing of two or more Bragg reflection diffraction gratings, apply the tension of beginning predetermined weight to the fiber which is a substrate, and the 1st Bragg reflection diffraction grating is formed. It faces forming the Bragg reflection diffraction grating after the 2nd, and a diffraction grating is formed, reducing sequential fixed weight [ every ] seal-of-approval tension.

[0031] Invention of this invention according to claim 18 in the manufacture approach Bragg reflection diffraction-grating formation phase of an optical controlling element according to claim 16 In carrying out formation processing of two or more Bragg reflection diffraction gratings, apply the tension of beginning predetermined weight to the fiber which is a substrate, and the 1st Bragg reflection diffraction grating is formed. It faces forming the Bragg reflection diffraction grating after the 2nd, sequential fixed weight [ every ] seal-of-approval tension is reduced, and it faces forming the last Bragg reflection diffraction grating, and a diffraction grating is formed without applying tension.

[0032] Hereafter, it explains to a detail with reference to the drawing of attachment of the



gestalt of operation of this invention.

[0033] (Gestalt 1 of operation) Drawing 1 explains the gestalt of operation of the 1st of this invention. Drawing 1 is a schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 1st of this invention. The optical controlling element shown in this drawing is characterized by having the compound diffraction grating 1 of the structure by which multiplex formation was carried out in core 18 part of a single mode fiber (SMF) to the field where the Bragg reflection diffraction grating 11 and the long period diffraction grating 12 are the same.

[0034] The compound diffraction grating from which the sign 1 was constituted by the Bragg reflection diffraction grating 11 and the long period diffraction grating 12 in drawing 1, The core which incorporated the compound diffraction grating 1 while 18 was constituted by the single mode fiber and forming optical waveguide, The clad by which 17 was prepared in a core 18 and laminating relation, and 13 are metal membranes which carry out the coat (covering) of the hemihedry of the front face of a clad 17, and constitute the optical controlling element by these compound diffraction grating 1, the core 18, the clad 17, and the metal membrane 13. Moreover, in drawing 1, a sign 15 shows the incident light irradiated towards an optical controlling element, and 16 shows the synchrotron orbital radiation by which the light 15 by which incidence was carried out to the optical controlling element was generated in response to the diffraction operation in the part of the compound diffraction grating 1. Multiplex formation is carried out to the same field in a core 18, and the Bragg reflection diffraction grating 11 and the long period diffraction grating 12 constitute the compound diffraction grating 1. Although the lattice plane of the Bragg reflection diffraction grating 11 is perpendicular to a single mode fiber optical axis (it is the same as that of the direction of incidence of incident light 15), 45 degrees of lattice planes of the long period diffraction grating 12 incline to the optical axis of a single mode fiber.

[0035] The production procedure of the optical controlling element concerning the gestalt of this operation is as follows. As a single mode fiber which forms a diffraction grating, it is the pressure of 150kg/cm<sup>2</sup>. What was left for two weeks is used into hydrogen. Next, in order to carry out the refractive-index modulation of the part of a core 18 with a predetermined period, in the long period diffraction grating 12, a metal mask and the Bragg reflection diffraction grating 11 irradiate excimer laser light using a phase mask. It was made, as for the mask of the long period diffraction grating 12, for a diffraction-grating side to become 45 degrees to the optical axis of a core. On the other hand, it was made, as for the mask of the Bragg reflection diffraction grating 11, for a diffraction-grating side to become 90 degrees to the optical axis of a core. The period of the mask for the long period diffraction gratings 12 uses that to which the period of 475 micrometers and the mask for the Bragg reflection diffraction gratings 11 is changed by ratio [ of 1nm/mm ]  $\Delta\lambda$  focusing on 0 or 54 micrometers. A mask is exchanged and excimer laser light is irradiated in the same location. All use a 3mm aperture slit. Therefore, both grid length is 3mm. When respectively independent, the reflection factor of the Bragg reflection diffraction grating 11 makes the dose of excimer laser light the conditions from which the radiation loss by the long period diffraction grating 12 becomes 30% -100% (it is the semantics that it is almost close to 100%). The coat (covering) of the semicircle pillar section of the front face of the clad 17 of a diffraction-grating formation part is carried out by the metal membrane 13.

[0036] Thus, the radiation property of the produced compound diffraction grating 1 is as follows. Since the Bragg reflection diffraction grating 11 is a chirp diffraction grating, the reflection by it is reflected in the location which is spatially different in the direction of an optical axis with each wavelength. On the other hand, by the long period diffraction grating 12, the light of the clad mode wavelength which can take it, periodic  $\lambda_{LP}$ , and phase matching is changed into radiation mode, and is emitted as synchrotron orbital radiation 16. Therefore, it interferes the wavelength period of 0.7nm of  $\Delta\lambda - \lambda_{LP}$ , and the radiation light-emission location of specific wavelength also becomes periodic spatially in the direction of an optical axis. When incidence is carried out to this compound diffraction grating 1 by making light of different wavelength into incident light 15, it is observed with the CCD camera for infrared radiation that the radiation location of synchrotron orbital radiation 16 changes. Moreover, since 45 degrees of long period diffraction gratings 12 are made to incline and the coat of the hemihedry of the front face of a clad 17 has been further carried out by the metal membrane 13, the directivity

of radiation is as good as  $\sim 10$  degrees. as mentioned above, this compound diffraction grating 1 -- the propagation light of a fiber -- a spectrum -- it is checked that it can distribute. [0037] what structure parameters, such as a period of the period of the grid length of the gestalt of this operation and the Bragg reflection diffraction grating 11 and the amount of chirps, and the long period diffraction grating 12, and diffraction-grating production conditions, such as the amount of laser radiation, are examples, and is limited to this -- it is not -- a spectrum -- it is setting up suitably and carrying out with bandwidth or target spatial resolving power, and it is clear that this invention becomes effective.

[0038] (Gestalt 2 of operation) Drawing 2 explains the gestalt of operation of the 2nd of this invention. Drawing 2 is the schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 2nd of this invention. The optical controlling element shown in this drawing is characterized by having the so-called compound diffraction grating 20 of the resonator structure which consists of a long period diffraction grating 22 formed in the core 28 of a single mode fiber (SMF), and a Bragg reflection diffraction grating 21 of the pair whose long period diffraction grating 22 of this was pinched from the cross direction.

[0039] The compound diffraction grating from which the sign 20 was constituted by the Bragg reflection diffraction grating 21 and the long period diffraction grating 22 in drawing 2, The core which incorporated the compound diffraction grating 20 while 28 was constituted by the single mode fiber and forming optical waveguide, The clad by which 27 was prepared in a core 28 and laminating relation, and 23 are metal membranes which carry out the coat (covering) of the hemihedry of the front face of a clad 27, and constitute the optical controlling element by these compound diffraction grating 20, the core 28, the clad 27, and the metal membrane 23.

Moreover, in drawing 2, a sign 25 shows the incident light irradiated towards an optical controlling element, and 26 shows the synchrotron orbital radiation by which the light 25 by which incidence was carried out to the optical controlling element was generated in response to the diffraction operation in the part of the compound diffraction grating 20. The Bragg reflection diffraction grating 21 and the long period diffraction grating 22 have taken the configuration which pinched the long period diffraction grating 22 of the Bragg reflection diffraction grating 21 of a pair formed in the core 28 from the cross direction (the inside of drawing 2 longitudinal direction), and form the so-called compound diffraction grating 20 of resonator structure. Although the lattice plane of the Bragg reflection diffraction grating 21 is perpendicular to the optical axis (it is the same as that of the direction of incidence of incident light 25) of a single mode fiber, 45 degrees of lattice planes of the long period diffraction grating 22 incline to the optical axis of a single mode fiber.

[0040] The production procedure of the optical controlling element concerning the gestalt of this operation is as follows. As a single mode fiber which forms a diffraction grating, it is the pressure of 150kg/cm<sup>2</sup> like the gestalt 1 of operation. What was left for two weeks is used into hydrogen. Next, in order to carry out the refractive-index modulation of the part of a core 18 with a predetermined period, in the long period diffraction grating 22, a metal mask and the Bragg reflection diffraction grating 21 irradiate excimer laser light using a phase mask. It is made, as for the mask of the long period diffraction grating 22, for a diffraction-grating side to become 45 degrees to the optical axis of a core. On the other hand, it is made, as for the mask of the Bragg reflection diffraction grating 21, for a diffraction-grating side to become 90 degrees to the optical axis of a core. The period of the long period diffraction grating 22 is 475 micrometers. The period of two Bragg reflection diffraction gratings 21 is 0.54 micrometers. Both the grid length of the long period diffraction grating 22 and the Bragg reflection diffraction grating 21 is 3mm. In actual production of the compound diffraction grating 20, an electric shielding mask with a width of face of 3mm is first put on a core, a phase mask is used for the both sides, and two Bragg reflection diffraction gratings 21 are formed. The long period diffraction grating 22 is formed with Rhine and the tooth-space metal mask which placed the slit with an aperture width of 3mm after an appropriate time, and inclined 45 degrees. When the Bragg reflection diffraction grating 21 and the long period diffraction grating 22 were independent respectively, the reflection factor of the Bragg reflection diffraction grating 21 made the dose of excimer laser light the conditions from which the transmission loss by the long period diffraction grating 22 becomes 20% 90%. Furthermore, the metal coat of the semicircle pillar section of the front face of the clad 27 of the formation part of the long period diffraction grating 22 is carried out.

[0041] Drawing 3 is drawing showing the property of this compound diffraction grating 20. Measurement uses 1.56 micrometer super luminescent diode (SLD) for the light source. Synchrotron orbital radiation 26 is observed with the CCD camera for infrared radiation, and measures reinforcement from a line profile. Drawing 3 (a) is drawing showing the transparency spectrum of synchrotron orbital radiation 26, and drawing 3 (b) is drawing showing the directional characteristics of the synchrotron orbital radiation within a field perpendicular to an optical axis. From the direction of the intersection of a field including the normal and optical axis of an inclined plane of a grid, and a field perpendicular to an optical axis, synchrotron orbital radiation reinforcement declines and it hardly emanates in a direction perpendicular to this intersection as it shifts. The peak-mesial-magnitude width of face of drawing 3 (a) to synchrotron orbital radiation is 1.560 micrometers and 1nm. Moreover, drawing 3 (b) shows that directivity is good. Since the grid length of the long period diffraction grating 22 is as short as 3mm, phase matching conditions are loose, and since the wavelength selection width of face of radiation mode is broadcloth, the wavelength of synchrotron orbital radiation 26 is decided by the Bragg reflection diffraction grating 21. Moreover, half-value width was decided by the Q value of a resonator, i.e., the reflection factor of the Bragg reflection diffraction grating 21. The grid length and period of the long period diffraction grating 22 and the Bragg reflection diffraction grating 21 of it not being what is limited to the value of this example are obvious, and especially the period of the Bragg reflection diffraction grating 21 is important when choosing the wavelength taken out from a fiber to the exterior as synchrotron orbital radiation.

[0042] what structure parameters, such as grid length of the gestalt of this operation, a period of the long period diffraction grating 22, and a period of the Bragg reflection diffraction grating 21, and diffraction-grating production conditions, such as the amount of laser radiation, show an example, and is limited to this -- it is not -- a spectrum -- it is setting up suitably and carrying out with bandwidth or target spatial resolving power, and it is clear that this invention becomes effective.

[0043] (Gestalt 3 of operation) Drawing 4 explains the gestalt of operation of the 3rd of this invention. Drawing 4 is the schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 3rd of this invention. With the gestalt 1 of operation, although the single mode fiber is used as optical waveguide, even if it uses the optical waveguide on the flat-surface substrate of a quartz system, such a compound diffraction grating 40 is producible similarly. The optical controlling element concerning the gestalt of operation of \*\*\*\* 3 is carried out in this way, and is created. In this case, since it emanates with perpendicularly sufficient directivity to the optical axis of waveguide in a substrate flat surface, the light of predetermined wavelength can be alternatively taken out by forming the second optical waveguide 49 in the location of the compound diffraction grating 40 at the 1st optical waveguide 48 and right angle.

[0044] The compound diffraction grating from which the sign 40 was constituted by the Bragg reflection diffraction grating 41 and the long period diffraction grating 42 in drawing 4, The 1st optical waveguide by which 48 was prepared towards the compound diffraction grating 40 in the substrate flat surface, The 2nd optical waveguide prepared by prolonging 49 in the direction of a right angle to the above-mentioned optical waveguide 48 and 44 are bond parts which connect the compound diffraction grating 40 and the 2nd optical waveguide 49. These compound diffraction grating 40, The 1st optical waveguide, 48, the 2nd optical waveguide 49, and a bond part 44 constitute the optical controlling element. Moreover, in drawing 4, a sign 45 shows the incident light irradiated towards an optical controlling element, and 46 shows the synchrotron orbital radiation by which the light 15 by which incidence was carried out to the optical controlling element was generated in response to the diffraction operation in the part of the compound diffraction grating 40. Multiplex formation is carried out to the same field in a substrate, and the Bragg reflection diffraction grating 41 and the long period diffraction grating 42 constitute the compound diffraction grating 40.

[0045] The production procedure of the optical controlling element concerning the gestalt of this operation is as follows. SiO<sub>2</sub> which doped germanium with sputter deposition equipment is deposited on a quartz substrate, and it is the pressure of 150kg/cm<sup>2</sup>. It is left for two weeks in hydrogen. By etching, the 1st waveguide 48 and 2nd waveguide 49 are formed using a T character-like opening mask. Or excimer laser light is irradiated using the mass of the same pattern, and waveguide is formed. The bond part 44 with the 1st waveguide 48 of the 2nd waveguide 49 receives association, and in order to make synchrotron orbital radiation 46 spread

by low loss, it is taken as the taper structure of changing from width of face equal to the grid length of the compound diffraction grating 40 formed later as shown in a Fig. to the width of face of the usual single mode waveguide. After an appropriate time, the gestalt 1 of the operation to an intersection, the Bragg reflection diffraction grating 41 and the long period diffraction grating 42 are produced in piles in the same location, and the compound diffraction grating 40 is formed.

[0046] In the compound diffraction grating 40 concerning the gestalt of this operation, since it has combined with the second optical waveguide 49 strongly according to the optical path which the bond part 44 has stuck to the 1st waveguide 48, and does not have a refractive-index difference, it becomes possible to take out synchrotron orbital radiation 46 more efficiently and to take out light 43. 1.560 micrometers of peaks of the ejection light 43 of this component come out, there are, and half-value width is 1nm. Ejection effectiveness is 70% or more.

[0047] (Gestalt 4 of operation) Drawing 5 explains the gestalt of operation of the 4th of this invention. Drawing 5 is the schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 4th of this invention. Although one compound diffraction grating 20 was formed in the single mode fiber and the light of predetermined wavelength was made to emit with the gestalt of the 2nd operation, in order [ which was explained previously ] to carry out the spectrum spectrum of the propagation light of a fiber and to distribute spatially for two or more wavelength components with the gestalt 4 of operation, the point which forms two or more compound diffraction gratings in the same single mode fiber is the description.

[0048] Two or more compound diffraction gratings from which the sign 50 was constituted by two or more Bragg reflection diffraction grating 51 and two or more long period diffraction gratings 52 in drawing 5 , The core which 58 consisted of the single mode fiber and incorporated two or more above-mentioned compound diffraction gratings 50, The clad by which 57 was prepared in a core 58 and laminating relation, and 53 are metal membranes which carry out the coat (covering) of the hemihedry of the front face of a clad 57, and constitute the optical controlling element by these compound diffraction grating 50, the core 58, the clad 57, and the metal membrane 53. Moreover, the incident light by which a sign 55 is irradiated towards an optical controlling element in drawing 5 is shown, and 56 is an optical controlling element. \*\* by which the light 55 by which incidence was carried out was generated in response to the diffraction operation in the part of the compound diffraction grating 50 \*\*\*\* is shown. It is formed by turns in a core 58 at a cross direction, and by arranging so that it may finish by the Bragg reflection diffraction grating 51, both ends have taken the configuration which two or more forms where the long period diffraction grating 52 of the Bragg reflection diffraction grating 51 of a pair was substantially pinched from the cross direction were made to follow, and, as for the Bragg reflection diffraction grating 51 and the long period diffraction grating 52, form two or more so-called compound diffraction gratings 50 of resonator structure. Although the lattice plane of the Bragg reflection diffraction grating 51 is perpendicular to the optical axis (it is the same as that of the direction of incidence of incident light 55) of a single mode fiber, 45 degrees of lattice planes of the long period diffraction grating 52 incline to the optical axis of a single mode fiber.

[0049] If the compound diffraction grating 50 of the gestalt of this operation is stated to a detail, as shown in drawing 5 , as for the structure of this compound diffraction grating 50, grid length will repeat continuously six pieces and five 45-degree inclination length period diffraction gratings 52 for the Bragg reflection diffraction grating (1mm and 2mm) 51, respectively. The overall length of the compound diffraction grating 50 is 16mm. However, the reflective peak wavelength of a Bragg reflection diffraction grating is shifted at intervals of 1nm, half-value width is 1nm, and a peak reflection factor is 30 - 50%. Although 1nm of reflective peaks of the Bragg reflection diffraction grating 51 before and after having pinched the long period diffraction grating 52 has shifted, since half-value width is 1nm, they are the reflection factor of the one half of a peak on the middle wavelength both. Therefore, since the resonator in this middle wavelength is constituted, each serves as a compound diffraction grating which has a radiation function in wavelength selection like the gestalt 1 of operation. Of course, not the Bragg reflection diffraction grating of a different reflective peak in this way as a reflecting mirror of a resonator but the thing of the same reflective peak wavelength may be used. In this case, Bragg reflection diffraction gratings 51 other than both ends are two from which 1nm of peak

wavelength of 1mm of grid length shifted, and are constituted. The overall length of a compound diffraction grating is 20mm with such a configuration.

[0050] The production procedure of the optical controlling element concerning the gestalt of this operation is as follows. As a single mode fiber which forms a diffraction grating, it is the pressure of 150kg/cm<sup>2</sup> like the gestalt 1 of operation. What was left for two weeks is used into hydrogen. Next, in order to carry out the refractive-index modulation of the part of a core 18 with a predetermined period, in the long period diffraction grating 52, a metal mask and the Bragg reflection diffraction grating 51 irradiate excimer laser light using a phase mask. It was made, as for the mask of the long period diffraction grating 12, for a diffraction-grating side to become 45 degrees to the optical axis of a core. On the other hand, it was made, as for the mask of the Bragg reflection diffraction grating 11, for a diffraction-grating side to become 90 degrees to the optical axis of a core.

[0051] In order to form the Bragg reflection diffraction grating 51 of 1nm spacing, a phase mask with the uniform period of 1.560 micrometers is used. In order to change wavelength, the seal of approval of the predetermined tension is carried out to the fiber which is a substrate, and a diffraction grating is formed. If the seal of approval of the tension is carried out beforehand and a diffraction grating is formed, in the busy condition which does not carry out the seal of approval of the tension, BURRAGU wavelength will become short. since change of the wavelength by tension is -80g pile/nm -- 400g a pile of tension of the beginning -- adding -- one by one -- 80g pile -- every -- seal-of-approval tension is reduced, the last 6th is forming without applying tension, and the diffraction grating whose reflective peak wavelength is 1.555-1.560 micrometers is formed. Moreover, in order to set grid length to 1mm, a slit with an aperture width of 1mm is used. Since grid length is very short, even if it uses a phase mask with a uniform period, a with a half-value width [ of 1nm ] diffraction grating can be formed.

[0052] The formation approach of 45-degree inclination length period diffraction grating 52 is almost the same as the gestalt 1 of operation. That is, although the long period diffraction grating 12 irradiates excimer laser light using a metal mask, it is made, as for the mask of the long period diffraction grating 12, for a diffraction-grating side to become 45 degrees to the optical axis of a core at this time, as mentioned above. In order to concentrate the direction of a radiation light emission on one side like the gestalt 1 of operation after an appropriate time, the coat of the semicircle pillar section on the front face of a clad of a 16mm compound diffraction grating is carried out by the metal membrane 53.

[0053] thus -- if incidence of the femtosecond pulsed light is carried out as incident light 55 as the single mode fiber (SMF) which hits the input edge of the produced compound diffraction grating 50 is connected by the outgoing end and welding of for example, femtosecond fiber laser and it is shown in drawing 5 -- the femtosecond light pulse of large spectral band width -- efficient -- a spectrum -- it can distribute. Thus, the pulse train signal coded by the multiple signal is acquired by inputting the synchrotron orbital radiation 56 of each component scattered by the spectrum into the port of a phase or the wavelength which carries out intensity modulation, makes I/O reverse, uses the each and corresponds the completely same compound diffraction grating 50 as the former in it with each signal. Moreover, it is separable into the signal of each channel by carrying out fusion splicing to the transmission outgoing end of a wavelength multiplexing lightwave signal. Furthermore, by inputting into each output side of the optical controlling element by this compound diffraction grating 50 the lightwave signal whose wavelength suited to the resonant wavelength of each resonator as incident light 55, it is multiplexed and a multiple signal is acquired. Thus, an optical controlling element can be used for efficient Max for wavelength multiplex optical telecommunications, and a demux.

[0054] the gestalt of this operation -- the overall length of the compound diffraction grating 50 -- 16mm -- comparatively -- long -- moreover, 1nm spacing -- the spectrum of five channels, although it is distribution Neither structure parameters, such as a period of grid length and the Bragg reflection diffraction grating 51 and a period of the long period diffraction grating 52, nor production conditions, such as the amount of laser radiation, are what is limited to the gestalt of this operation. By setting up a structure parameter and production conditions suitably, the formation of short component length, expansion of a part light pattern region, and increase of the number of channels are still more possible enough. Moreover, although the approach of carrying out the seal of approval of the tension to production of the Bragg reflection diffraction grating which shifted 1nm of wavelength was used, \*\* is producible similarly using the phase

mask or chirp mask with which periods differ.

[0055]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the spectrum of an ultrashort pulse of the optical controlling element by the compound diffraction grating based on this invention is efficient -- a spectrum -- optical coding of the a large number signal by distribution is realized. And efficient Max of wavelength multiplex optical telecommunications and a demux can be attained. Thereby, it carries out possible [ of the transmission of the large capacity of 1 or more Tbpses, and a ultra high-speed signal ].

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 1st of this invention

[Drawing 2] The schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 2nd of this invention

[Drawing 3] Drawing showing the property of the optical controlling element by the gestalt of operation of the 2nd of this invention

[Drawing 4] The schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 3rd of this invention

[Drawing 5] The schematic diagram showing the optical controlling element by the gestalt of operation of the 4th of this invention

[Drawing 6] (a) Drawing explaining the dependence property of a radiation mode peak over the period of the long period diffraction grating of the optical controlling element which is the conventional example

(b) Drawing explaining the property of change of a transmission loss spectrum over the formation time amount of the long period diffraction grating of the optical controlling element which is the conventional example

[Description of Notations]

10, 20, 40, 50 Compound diffraction grating

11, 21, 41, 51 Bragg reflection diffraction grating

12, 22, 42, 52 Long period diffraction grating

13, 23, 53 Metal membrane

15, 25, 45, 55 Incident light

16, 26, 46, 56 Synchrotron orbital radiation

17, 27, 57 Clad

18, 28, 58 Core

43 Ejection Light

44 Bond Part

48 1st Waveguide

49 2nd Waveguide

---

[Translation done.]



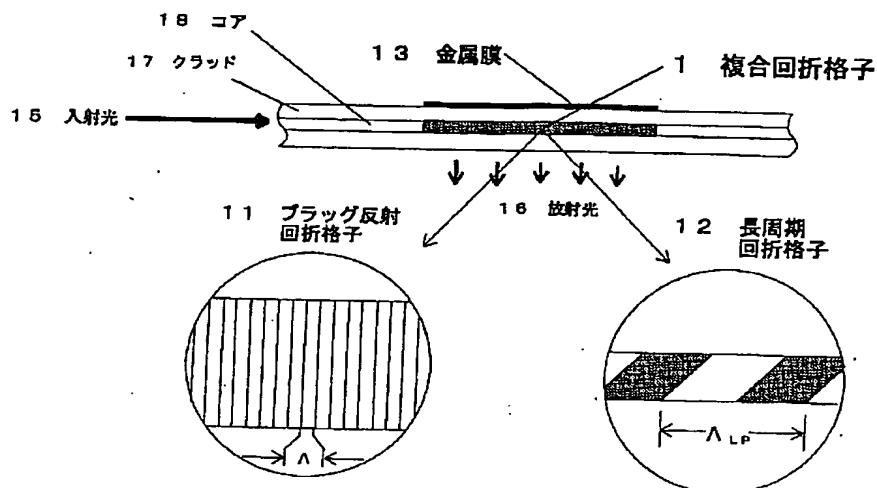
## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

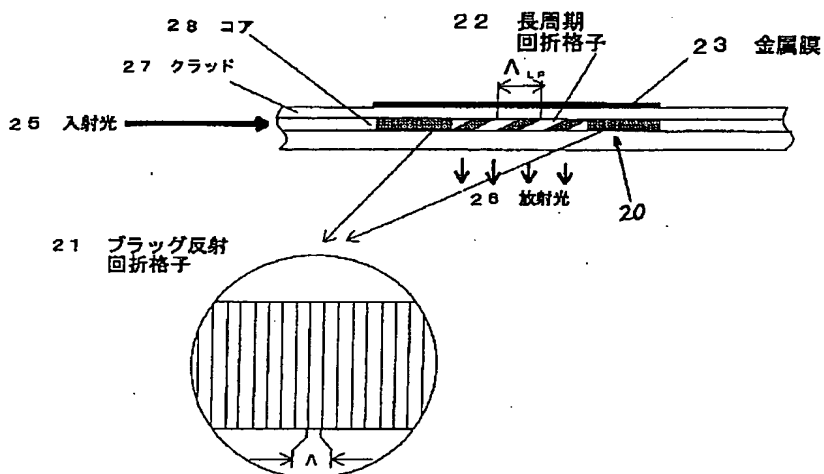
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

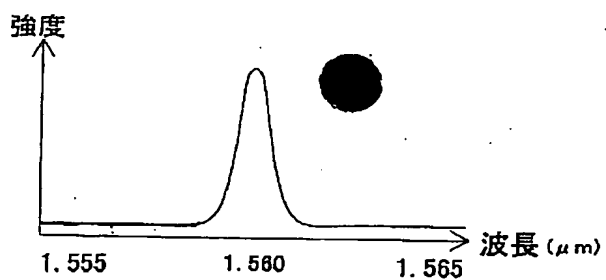
[Drawing 1]



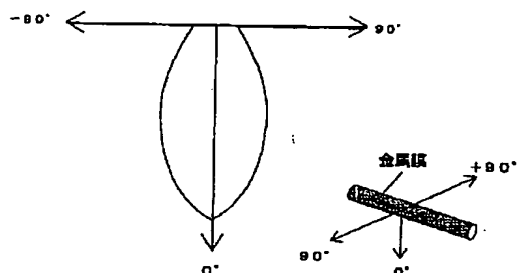
[Drawing 2]



[Drawing 3]

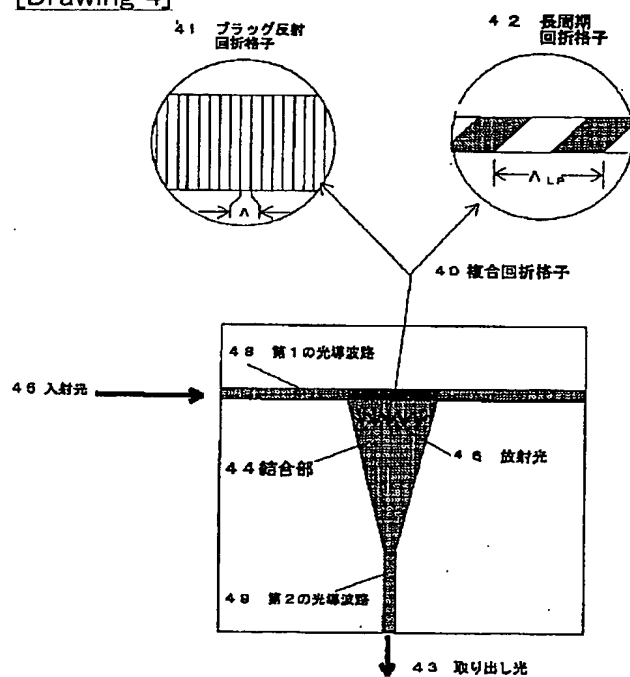


(a) 放射光スペクトル

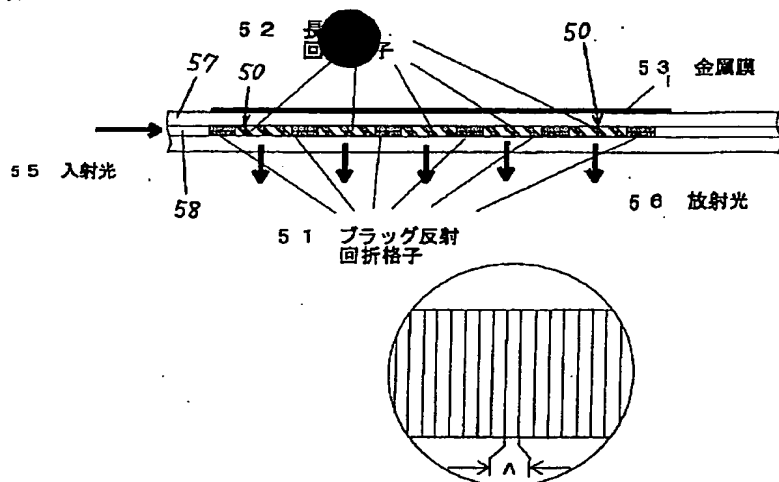


(b) 放射光の指向性

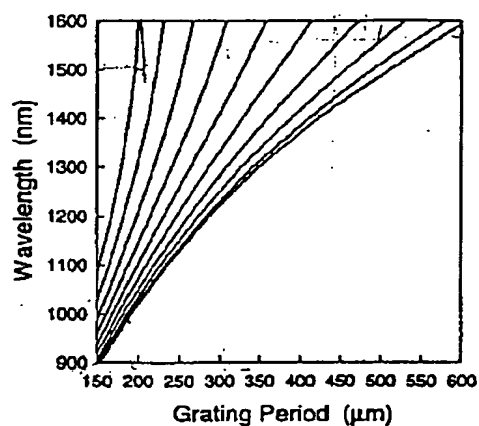
[Drawing 4]



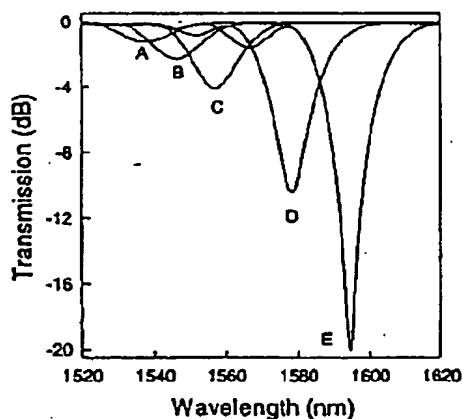
[Drawing 5]



[Drawing 6]



(a) 長周期回折格子の放射モード  
ピークの周期依存性



(b) 長周期回折格子による透過損失の  
照射時間依存性

[Translation done.]